हिन्दी-समिति-ग्रन्थमाला—३२

इलेक्ट्रान विवर्तन

(Electron Diffraction)

लेखक

आर० बीचिन

(R. Beechin

अनुवादक

दयाप्रसाद खण्डेलवाल, एम० एस सी०, पी एच० डी०

प्रकाशन शाखा, सूचना विभाग

उत्तर प्रदेश

प्रकाशकीय

विश्व के ज्ञान-विज्ञान की महत्त्वपूर्ण सामग्री राष्ट्रभाषा हिन्दी में प्रस्तुत कराने के उद्देश्य से उत्तर प्रदेश प्रशासन ने अनेक मौलिक ग्रन्थों के प्रणयन एवं विशिष्ट ग्रन्थों के अनुवाद का जो महत्त्वपूर्ण निश्चय किया था, तदनुसार हिन्दी समिति के तत्त्वावधान में अब तक ३२ ग्रन्थ विविध विषयों के प्रकाशित किये जा चुके हैं तथा अन्यान्य ग्रन्थ शीघ्र निकालने का प्रयत्न किया जा रहा है।

प्रस्तुत पुस्तक हिन्दी-समिति-ग्रन्थमाला का ३२वाँ पुष्प है। यह श्री आर० बीचिंग कृत अंग्रेजी पुस्तक 'इलेक्ट्रान डिफ्रैक्शन' का हिन्दी अनुवाद है। अनुवादक श्री दयाप्रसाद खण्डेलवाल, राजकीय डिग्री कालेज नैनीताल में भौतिकी के सहायक आचार्य हैं। आपको बचपन से ही हिन्दी में विशेष रुचि रही है। आप आगरा वैज्ञानिक समिति के मंत्री रह चुके हैं और आपने हाई स्कूलों के लिए 'प्रारंभिक भौतिकी' नामक पुस्तक लिखी है। आपने बी० एस सी० कक्षाओं के लिए श्री साहा तथा श्री श्रीवास्तव की 'हीट' नामक पुस्तक का "उष्मा" के नाम से हिन्दी में अनुवाद भी किया है।

मणिभों में परमाणुओं की जमावट का अध्ययन करने के लिए एक्स-किरण विवर्तन का उपयोग बहुत पहले से होता आया है। जब से डी ब्रॉगली ने इलेक्ट्रान के तरंग-स्वरूप का प्रतिपादन किया, तब से इलेक्ट्रान विवर्तन का उपयोग भी इस कार्य के लिए होने लगा। किन्तु परमाणु एक्स-किरणों को इतनी प्रबलता से प्रकीर्णित नहीं करते जितनी प्रबलता से वे इलेक्ट्रानों को प्रकीर्णित करते हैं। फलत पृष्ठीय रचनाओं के अध्ययन में इलेक्ट्रान विवर्तन का विशिष्ट महत्त्व है, और गर्भीय रचनाओं के अध्ययन में एक्स-किरणों का। वास्तव में इलेक्ट्रान विवर्तन का विकास इतनी दिशाओं में तथा इतनी तीव्रता से हुआ है कि इस छोटी पुस्तिका में इन सबका विवरण देना संभव नहीं है। फिर भी श्री बीचिंग ने जिन विशिष्ट विधियों का विवरण इसमें दिया है, वह उन लोगों के लिए परमोपयोगी होगा जो इस विषय में प्राप्त अब तक के परिणामों का अध्ययन कर आगे और अनुसंधान कार्य करना चाहते हों। साथ ही, जैसा कि

लेखक ने लिखा है यह पुस्तक उन लोगों के भी बड़े काम की है, जिन्हें "इलेक्ट्रानो के तरंग-गुण के व्यापक सैद्धान्तिक परिणामो में रुचि है" या जो इनका महत्त्व समझकर इस विषय की अच्छी जानकारी प्राप्त करना चाहते हैं। आशा है, हिन्दी के पाठकों को भौतिकी की इस नयी शाखा से परिचित कराने में हमारी यह पुस्तक विशेष सहायक होगी।

भगवतीशरण सिंह
सचिव, हिन्दी समिति

प्राक्कथन

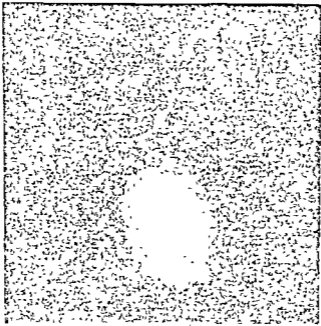
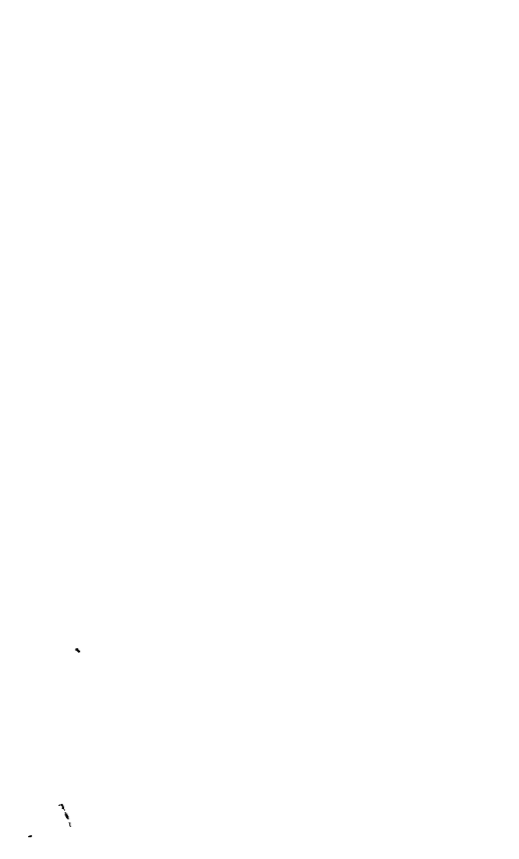
यद्यपि इलेक्ट्रान विवर्तन[1] भौतिकी की अपेक्षाकृत नयी शाखा है, तथापि पुस्तिकाओं की इस शृंखला में इसका समावेश समीचीन ही है। इसका कारण महत्व है। एक ओर यह तरंग-यांत्रिकी[2] के उन सिद्धान्तों का सबसे सीधा प्रमाण हमें देता है जिन पर अब समस्त परमाणवीय भौतिकी आधारित है, दूसरी ओर इसके अनुप्रयोगों[3] से पृष्ठों, आणव बनावटों[4] और मणिभ गठन[5] संबंधी अध्ययन का सबसे आशाप्रद मार्ग हमें प्राप्त होता है। इलेक्ट्रान विवर्तन से किसी पदार्थ के पृष्ठ पर परमाणुओं की जमावट के विषय में हमें वैसे ही सूचना मिलती है, जैसे पदार्थ के आयतन में जमावट के विषय में x- किरणों से। पृष्ठीय तथा आणव बनावट संबंधी समस्याओं का, जो इस समय भौतिकी और रसायन के बीच के भूले हुए क्षेत्र में पड़ती हैं, अगले कुछ वर्षों में अधिकाधिक अध्ययन होगा, और यह संभव है कि इनके हल निकट भविष्य के उपयोग को भौतिक विज्ञान के सबसे महत्वपूर्ण देन सिद्ध हों। इसलिए यह नितान्त वांछनीय है कि इस विधि की संभावनाएँ वैज्ञानिक कार्यकर्ताओं के अधिकतम वर्गों के सम्मुख स्पष्ट रूप में प्रस्तुत की जायें, और इस उद्देश्य के लिए यह पुस्तक बहुत ही उपयुक्त है।

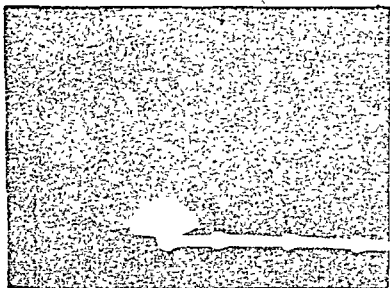
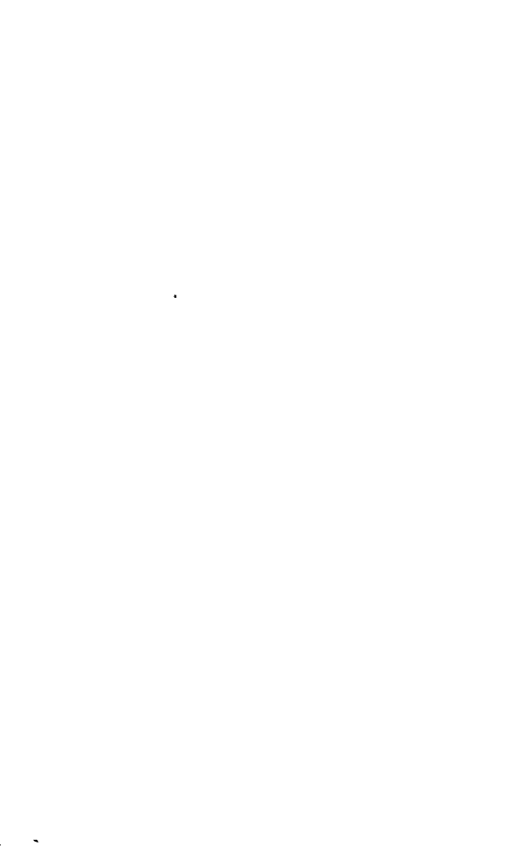
यह आशा करनी चाहिए कि अब तक प्राप्त हुए फलों का जो स्पष्ट वृत्तान्त यहाँ दिया गया है उससे अनेक कार्यकर्ताओं को इस आकर्षक नये करण[6] से अपना भाग्य आजमाने की प्रेरणा मिलेगी। यदि वे ऐसा करेंगे तो उन्हें टेकनिकल विधियों का जो विवरण श्री बीचिंग ने दिया है वह बहुत मूल्यवान् सिद्ध होगा। श्री बीचिंग ने इनमें से अनेक विधियों का स्वयं उपयोग किया है तथा अन्य में से अधिकांश को कार्य-रूप में देखने, और उनके विकास में लगे व्यक्तियों से उनके गुणों के संबंध में विवेचन करने, का उन्हें अवसर प्राप्त हुआ है।

इलेक्ट्रान विवर्तन की टेकनीक प्रायः कुछ कठिन मानी जाती है। जहाँ तक द्रुत इलेक्ट्रानों द्वारा पृष्ठों के अध्ययन का सम्बन्ध है यह धारणा गलत है; यह दूसरी बात

1. Diffraction 2. Wave mechanics 3 Applications 4. Molecular structures 5 Crystal growth 6. Tool

विषय-सूची

चित्र १५—'नेचर' (Nature) के सम्पादक की कृपापूर्ण अनुमति से तथा चित्र १६ और १७ प्रोसीडिंग्स आफ रॉयल सोसाइटी' (Proceedings of the Royal Society) के सम्पादक की और चित्र ३४-३८ फैराडे सोसाइटी के सचिव की कृपालु अनुमति से प्रस्तुत किये गये हैं।

1. अभ्रक (mica) के लिए किकुची "N-प्ररूप" (N-pattern)–
जी. आइ. फिच. पटल (Film) ऐसी मोटाई का है कि
"L-प्ररूप" का विकास आरम्भ ही हो रहा है।

२. बहु-मणिभी (poly crystalline) स्वर्ण-पटल के पार-सचरण (transmission)—जी पी टामसन

3. यशद ब्लैंड (zinc blende) विदलन फलक (cleavage face) से परावर्तन प्रहर—जे. आर टिलमैन

4. ताम्र के ऐचित (etched) एकाकी मणिभ का (III) फलक—डब्लू कौक्रेन

अध्याय १

इलेक्ट्रानों का तरंग रूप और मणिभों का ग्रेटिंग व्यवहार

इलेक्ट्रान पर तरंग गुणों का आरोप सर्वप्रथम डी ब्रोगली ने प्रकाश के तरंग और कण गुणों में सामंजस्य स्थापित करने के यत्न में किया था। कृष्णपिंड विकिरण[1] सम्बन्धी कार्य ने उसे प्रकाश को तरंगों द्वारा नियन्त्रित क्वांटा[2] मानने को प्रवृत्त किया था। बाद में उसने इस सिद्धान्त को द्रव्य कणों पर भी लागू कर दिया, मूलतः ज्यामितीय प्रकाशिकी[3] और सनातन गतिकी[4] की घनिष्ट समता के फल-स्वरूप।

यहाँ तरंग-समीकरण की व्युत्पत्ति[5] के लिए डी ब्रोगली की विधि की एक संक्षिप्त रूप-रेखा दी जायेगी। तर्क एकदम कठोर नहीं है, किन्तु कम अमूर्त[6] होने के कारण यह तर्क, श्रोडिंजर तथा अन्य लोगों द्वारा बाद में प्रयुक्त विधियों की अपेक्षा, अधिक सरलता से समझ में आता है। चाहे समीकरण की व्युत्पत्ति कैसे ही की जाय, वह कुछ स्वेच्छित मान्यताओं[7] पर आधारित रहता है, जिनका औचित्य इसीलिए मान्य होता है कि अनेक क्षेत्रों में उनसे प्राप्त फल सही उतरते हैं।

अपने मौलिक तर्क में डी ब्रोगली ऊर्जा[8] और आवृत्ति[9] के सम्बन्ध को मूलात्मक[10] मानता है, और इसलिए वह कण की विराम ऊर्जा[11] के साथ एक आवृत्ति ν_0† संलग्न करता है—

$$h\nu_0 = m_0 c^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

जहाँ h प्लांक नियतांक है, m_0 कण की विराम संहति[12] है, और c प्रकाश का वेग है।

इस आवृत्ति की वास्तविक प्रकृति निर्दिष्ट नहीं की जाती, किन्तु इसे इस रूप में प्रतिदर्शित किया जा सकता है।

$$\psi = f\,(x_0 y_0 z_0)\ \text{ज्या}\ 2\pi\,\nu_0 t_0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

1. Black body radiation 2. Quanta 3. Optics 4. Classical dynamics 5. Derivation 6. Abstract 7. Arbitrary postulates 8. Energy 9. Frequency 10. Fundamental 11. Rest energy 12. Rest mass † यह ग्रीक अक्षर न्यू है ν।

यदि z दिशा में v वेग से चलते अक्षों के लिए इसका लोरेंत्स रूपान्तर[1] किया जाय, तो

$$z_o = \frac{z - vt}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

$$t_o = \frac{t - \frac{\beta z}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

जिसमें $\beta = \frac{v}{c}$, जैसा आपेक्षिकतावादी सिद्धान्त[2] में होता है।

फलत. ψ के लिए व्यंजक हो जाता है—

$$\psi = f\left(x, y, \frac{z - vt}{\sqrt{1-\beta^2}}\right) \text{ ज्या } \left\{\frac{2\pi\nu_o}{\sqrt{1-\beta^2}}\left(t - \frac{\beta z}{c}\right)\right\} \dots\dots (5)$$

इस व्यंजक का रूप है—

$$\psi = A \text{ ज्या } 2\pi\nu\left(t - \frac{z}{V}\right) \dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

जो z अक्ष की दिशा में V वेग से चलती तरंग को प्रदर्शित करता है, और निम्नांकित प्रकार के तरंग समीकरण का एक हल है—

$$\nabla^2\psi - \frac{1}{V^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0 \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

यदि A एक स्थिरांक हो, या $\nabla^2 A = 0$, जहाँ V तरंग के वेग के लिए माना गया है
तुलना से हम देखते हैं कि व्यंजक (5) द्वारा निरूपित तरंग का वेग

$$V = \frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{v} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

होगा, जबकि आवृत्ति[3] होगी

$$\nu = \frac{\nu_o}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

1. Lorentz transformation 2. Relativity theory 3. Frequency

ज्यों-ज्यों v बढ़ेगा, तरंग-दैर्घ्य λ कम होगा, क्योंकि

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{c^2}{v} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\nu_o} = \frac{h}{m_o v}\sqrt{1-\beta^2} = \frac{h}{mv},$$

$$\lambda = \frac{h}{\text{सवेग}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

जब कण वेग v से चल रहा हो, तो उसकी ऊर्जा W को $h\nu$ के बराबर सिद्ध किया जा सकता है—

$$W = \frac{m_o c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{h\nu_o}{\sqrt{1-\beta^2}} = h\nu \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

जिस तरंग समीकरण का, आयाम[1] अचर[2] होने की अवस्था मे, (5) एक हल है, उसका रूप होगा

$$\nabla^2\psi - \frac{1}{V^2}\frac{\partial\psi}{\partial t^2} = 0,$$

या, समीकरण (8) के कारण,

$$\nabla^2\psi - \frac{v^2}{c^4}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

यदि इलेक्ट्रान की समस्त ऊर्जा E है और स्थितिज ऊर्जा[3] V, तो उसकी गतिज ऊर्जा[4] है

$$\tfrac{1}{2}\, mv^2 = E - V,$$

$$\therefore \quad v^2 = \frac{2}{m}(E-V) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

इसे (12) में रखने से

$$\nabla^2\psi - \frac{2}{mc^4}\,(E-V)\,\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (12\text{क})$$

यदि (5) इसका एक हल है तो हम देखते है कि

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = -\psi\,\frac{4\pi^2\nu_o^2}{1-\beta^2}.$$

1. Amplitude 2. Constant 3. Potential energy 4. Kinetic energy

अतः आयाम समीकरण[1] (12क) को इस प्रकार लिख सकते हैं—

$$\nabla^2\psi + \frac{4\pi^2\nu_o^2}{1-\beta^2}\,\frac{2}{mc^4}\,(E-V)\psi = 0.$$

किन्तु $\frac{\nu_o}{1-\beta^2} = \frac{(m_o c^2)}{h}.\ \ \frac{1}{1-\beta^2} = \frac{m^2c^4}{h^2}$, अतः

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 m(E-V)}{h^2}\,\psi = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

जो तरंग समीकरण का सामान्यतः व्यवहृत स्वरूप है।

तरंगों में कण की स्थिति—अब तक हमने केवल समतल तरंगों की एक श्रृंखला पर विचार किया है, जो V वेग से चलती है। कण के विषय में हम केवल इतना जानते हैं कि वह तरंगों की दिशा में ही v वेग से चलता है। उसकी स्थिति का आगे निर्देश करने के लिए डी ब्रोगली उस कण के साथ एक तरंग-गुट्ट[2] संलग्न करता है, जो परस्पर बहुत निकट की आवृत्तियों वाली तरंगों के एक संघ[3] का बना होता है। तब इनके फलित आयाम[4] में जो एक सुस्पष्ट महत्तम[5] बनता है वही द्रव्य कण की स्थिति वाला बिन्दु है, यह माना जा सकता है।

इस विषय में यह दृष्टिकोण अपनाने की प्रेरणा इस बात से मिलती है कि सनातन यांत्रिकी में कण की गतिज ऊर्जा का संवेग के प्रति अवकल गुणक[6] हमें कण का वेग देता है। न्यूटनी यांत्रिकी में

$$\frac{d(\frac{1}{2}mv^2)}{d(mv)} = v,$$

जब कि तरंग सिद्धान्त में (10) और (11) के कारण यह हो जाता है—

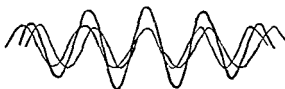
$$v = \frac{dW}{d(mv)} = \frac{d(h\nu)}{d(h/\lambda)} = \frac{d\nu}{d\left(\frac{\nu}{V}\right)} \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

नीचे बताया जायगा कि व्यंजक (15), और ν से सूक्ष्मतरतः[7] भिन्न आवृत्तियों वाली तरंगों के संघ के वेग का व्यंजक, अनन्य है।

अब, $\lambda = \frac{h}{mv}$ और $V = \frac{c^2}{v}$, अतः $V = \frac{c^2 m}{h}\lambda$

1. Amplitude equation 2. Wave packet 3. Group 4. Amplitude 5. Pronounced maximum 6. Differential coefficient 7. Infinitesimally

इससे स्पष्ट है कि संघ की तरंगो में विक्षेपण[1] होगा, और अधिकतर तरंगदैर्घ्य की तरंगें तीव्रतर चलेंगी।

संघ वेग[2]—दो ऐसी तरंगों पर विचार कीजिए जिनका तरंगदैर्घ्य थोड़ा-सा भिन्न हो, और मान लीजिए कि वे आकाश[3] में किसी विन्दु पर एक ही कला[4] में हैं, जैसा आकृति (१) में दिखाया गया है। गहरी रेखा फलित आयाम दिखा रही है। यदि तरंगों मे ऐसा विक्षेपण है, जिस पर हम विचार कर रहे हैं, तो ज्यों ज्यों फलित तरंग आगे बढ़ती है, उसके अधिकतम आयाम का विन्दु, किसी एक तरंग की किसी एक चोटी पर माने गये मूलबिन्दु की तुलना से, पीछे की ओर खिसकता जायेगा। किसी स्थिर मूलविन्दु से फलित तरंग का महत्तम विन्दु वेग v से आगे बढ़ेगा, जिसे संघ-वेग कहते हैं, और यह दोनों तरंगों के वेग से कम होगा।

आकृति १—तरंग-संघ[5]।

मान लीजिए उन दोनों तरंगों का योग इस प्रकार प्रतिदर्शित किया जाता है—

$$A = \text{कोज्या } 2\pi\nu\left(t - \frac{z}{V}\right) + \text{कोज्या } 2\pi\nu'\left(t - \frac{z}{V}\right)$$

$$= 2 \text{ कोज्या } 2\pi\left\{\frac{\nu+\nu'}{2}\, t - \frac{z}{2}\left(\frac{\nu}{V} + \frac{\nu'}{V'}\right)\right\}$$

$$\text{कोज्या } 2\pi\left\{\frac{\nu-\nu'}{2}\, t - \frac{z}{2}\left(\frac{\nu}{V} - \frac{\nu'}{V'}\right)\right\}.$$

सीमान्त अवस्था $\nu \to \nu'$ में यह हो जायगा—

$$A = 2 \text{ कोज्या } 2\pi\left(\nu t - z\,\frac{\nu}{V}\right)$$

$$\text{कोज्या } 2\pi\left\{\frac{d\nu}{2}\, t - \frac{z}{2}\, d\left(\frac{\nu}{V}\right)\right\}.$$

1. Dispersion 2. Group Velocity 3. Space 4. Phase 5. Wave-group

इस व्यंजक का दूसरा पद एक आयाम परिवर्तन को निरूपित करता है, जो तरंग की दिशा में वेग v से चलता है, जहाँ

$$v = \frac{dy}{\left(\frac{y}{V}\right)}.$$

इस प्रकार हम देखते हैं कि जिस प्रकार के तरंगों के संघ पर हमने विचार किया है, उसके वेग का व्यंजक और कण के वेग का व्यंजक (15) अनन्य हैं।

सिद्धान्त (थ्योरी) को सम्पूर्ण करने के लिए एक और मान्यता जोड़ना आवश्यक है—यह कि किसी बिन्दु पर कण के प्रकट होने की प्रायिकता[1] उस बिन्दु पर तरंगों की तीव्रता[2] के अनुपात में होती है। यह दृष्टिकोण प्रकाश के लिए भी आवश्यक होता है, जब तरग और क्वांटम सिद्धान्तों में सामजस्य करना होता है।

यह ध्यान देने योग्य बात है कि डी ब्रोगली तरंगों का वेग प्रकाश के वेग से अधिक होता है—

$$V = \frac{c^2}{v} > c.$$

इसका आपेक्षिकतावादी[3] सिद्धान्त से, जिस पर यह सिद्धान्त आधारित है, कोई वैपरीत्य[4] नहीं है, क्योंकि इन तरंगों का कोई स्थूल अस्तित्व नहीं है। जहाँ तक प्रकाश का सम्बन्ध है, v को c के बराबर होना चाहिए, जिसका अर्थ है कि क्वांटा उसी वेग से बढ़ते हैं जिससे तरंगें। फलत. यह मानना आवश्यक हो जाता है कि क्वांटा में सूक्ष्मतरतः अल्प[5] विराम सहति[6] होती है।

तो ये हैं वे विचार जिन्हें डी ब्रोगली ने १९२४ में प्रस्तुत किया, और जिन्हें १९२६ में श्रोडिंजर ने परमाणु पर लागू किया। उनके कार्य के फलस्वरूप बोहर सिद्धान्त की पूर्णांक क्वांटम संख्या n के स्थान पर $\sqrt{n(n+1)}$ का आना भली भाँति समझाया जा सका। १९२८ में डी ब्रोगली के सिद्धान्त को प्रत्यक्ष पुष्टि प्राप्त हो गयी—अमेरिका में डेविसन और जर्मर द्वारा तथा एबरडीन में जी. पी. टॉमसन द्वारा, लगभग समकालिक ही, किये गये प्रयोगों से। किसी भी तरंग गति का चरम परीक्षण

1. Probability 2. Intensity 3. Relativity 4. Conflict 5. Infinitesimally small 6. Rest mass

व्यतिकरण[1] प्रयोग है, और ये अन्वेषक मणिभों को त्रिदिश[2] ग्रेटिंग के रूप में काम लेकर इलेक्ट्रानों के दडों[3] को विवर्तित[4] करने में सफल हुए।

मणिभ एक ग्रेटिंग के रूप में—जब पहली बार यह कल्पना की गयी थी कि इलेक्ट्रानों में सभवत तरंग-गुण हों, उससे कुछ वर्ष पहले वी. लादे ने सुझाया था कि एक्स-किरणों को विवर्तित करने के लिए मणिभों का प्रयोग किया जाय, और इसके फलस्वरूप एक्स-किरण मणिभवीक्षण[5] का विस्तृत विषय विकसित हुआ। इस प्रकार पहले से ही मणिभ के ग्रेटिंग जैसे व्यवहार का बहुत ज्ञान उपलब्ध था। यहाँ इनमें से कुछ विचारों का उल्लेख लाभप्रद होगा, क्योंकि उन्हीं पर इलेक्ट्रान विवर्तन का प्रारंभिक कार्य आधारित था।

मणिभों में बनावट तीनों दिशाओं में आवर्तन[6] दोहरती जाती है। मान लीजिए, हम बनावट के प्रत्येक दोहरन[8] में सगत[9] बिन्दुओं पर विचार करते हैं। तो ये बिन्दु एक नियमित प्ररूप[9] बनायेंगे जिसे "मणिभ लैटिस"[10] कहा जाता है। यदि हम इन बिन्दुओं को समातर[11] ऋजु रेखाओं के किन्हीं तीन संघातों[12] द्वारा सम्बद्ध कर दें तो समपड्-फलकों[13] का एक व्यूह बन जायगा। ऐसे एक समपड्फलक को एकांक कोषा[14] कहते हैं, क्योंकि यही वह अल्पतम अंग है जिसके दोहराने से सम्पूर्ण बनावट को खड़ा किया जा सकता है।

ये समपड्फलक अनन्त प्रकार से बनाये जा सकते हैं, क्योंकि लैटिस बिन्दुओं से गुजरती किन्हीं तीन समातर रेखाओं के सघातों से ये परिसीमित[15] हो सकते हैं। किन्तु प्रत्येक दशा में कोषा (कोशा) का आयतन वही होता है।

द्योतन के लिए एकांक कोषा की तीन परस्पर मिलनेवाली कोरों[16] की [illegible] दिशाओं को मणिभ अक्षवर्ग[17] कहा जाता है, और इन कोरों की लम्बाइयों [illegible] की लम्बाई कहा जाता है। लैटिस बिन्दुओं के किसी सघात से गुजरते [illegible] कल्पना कीजिए जिसे एक "व्यूह तल"[18] कहते हैं। यदि अक्षों [illegible] हैं, और यदि यह तल लैटिस अक्षों को (मूलबिन्दु माने गये [illegible] l, m, n एकाक दूरी पर काटता है, तो इस तल का [illegible]

1. Interference 2. Three dimensi[illegible] [illegible] llography 6. Periodically 7. Rep[illegible] [illegible] pattern 10. Crystal lattice 11. Paral[illegible] [illegible] 14. Unit cell 15. Bounded 16. [illegible]

$$\frac{x}{al}+\frac{y}{bm}+\frac{z}{cn}=1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

मान लीजिए $x'=\frac{x}{a}, y'=\frac{y}{b}, z'=\frac{z}{c},$

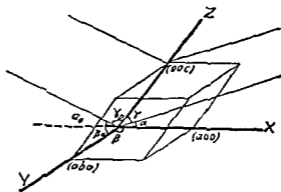
तो $\frac{x'}{l}+\frac{y'}{m}+\frac{z'}{n}=1,$

और $x'mn+y'nl+z'lm=lmn;$

यह हो जाता है

$$hx'+jy'+kz'=N=\text{(एक पूर्णांक)} \ldots\ldots\ldots\ldots($$

जिसमें h, j, k के बीच कोई सार्व गुणक[1] नहीं है। इन h, j, k को उपर्युक्त
तथा उसके समान्तर तलों के मिलर सूच्यांक[2] कहा जाता है, और वास्तव में ये बत
है कि एकांक कोपा[3] के x, y, z कोरों को ये तल-संघात कितने खण्डों में बाँटते
यह बताया जा सकता है कि ऐसे एक तल-संघात में सभी लैटिस बिन्दु समाविष्ट
जाते हैं। जो तल-संघात दूर दूर होते हैं उनमें प्रति वर्ग क्षेत्रफल में अनेक बि
अवस्थित होते हैं, और जो तल-संघात पास-पास होते हैं उनमें कुछ ही। N के क्रमि
मानों से प्राप्त तल समांतरीय[4] होंगे।

तरंगों का विवर्तन—किसी मणिभ द्वारा तरंगों के विवर्तन पर विचार करते
हमें यह प्रतिबन्ध[5] नियत करना है कि समस्त लैटिस बिन्दुओं से प्रकीर्णित[6] तरंगिका[7]

आकृति २—एक एकाक कोपा के लिए विवर्तन का प्रतिबन्ध।

1. Common factor 2. Miller indices 3. Unit cell. 4. Equidistant
5. Condition 6. Scattered 7. Wavelets

प्रबलन[1] करें। मान लीजिए हम एक सरल कोपा पर विचार करें, जिसमें केवल कोनों पर ही प्रकीर्णक[2] विन्दु हैं (जो यह मानने के तुल्य है कि प्रत्येक कोपा में एक ही विन्दु है), और उस पर समतल तरंगों को गिरने दें। मान लीजिए इस आपाती[3] तरंगाग्र[4] का अभिलम्ब तीन अक्षों से कोण $\alpha_o, \beta_o, \gamma_o$ बनाता है, और जैसा आकृति २ में बताया गया है, अक्षों से α, β, γ कोण बनाती समांतर प्रकीर्णित किरणों के प्रबलन का प्रतिबंध ज्ञात करना है।

एक मूलबिन्दु से प्रकीर्णित किरण और एक (a, o, o) विन्दु से प्रकीर्णित किरण प्रबलन करें, इसके लिए आवश्यक है कि इन दो किरणों का पथान्तर a (व्युज्या α_o —व्युजा α) तरंग-दैर्घ्य का पूर्णांक गुणक हो। ऐसे ही प्रतिबंध विन्दु (o, b, o) और (o, o, c) के लिए लागू हैं।

इसलिए यदि प्रतिबंध

$$\left.\begin{aligned} a(\text{कोज्या } \alpha_o - \text{कोज्या } \alpha) &= l\lambda \\ b(\text{कोज्या } \beta_o - \text{कोज्या} \beta) &= m\lambda \\ c(\text{कोज्या } \gamma_o - \text{कोज्या } \gamma) &= n\lambda \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots(3)$$

एक साथ पूरित हों, तो मणिभ के सभी लैटिस बिन्दुओं से प्रकीर्णित किरणें प्रबलन करेंगी, क्योंकि किसी भी विन्दु पर पूर्णांक चरणों[5] से पहुँचा जा सकता है, और प्रत्येक चरण में पथान्तर पूर्णांक तरंग-दैर्घ्यों के बराबर है। प्रकीर्णित किरणों को समान्तर मानते हैं, क्योंकि प्रभाव मणिभ से बहुत दूरी पर ही प्रेक्षित[6] किये जाते हैं।

क्योंकि α, β, γ परस्परावलम्बी हैं इसलिए उपर्युक्त बन्धनवर्ग $\alpha_o \beta_o \gamma_o$ तथा λ के कुछ नियत मानों से ही पूरित हो सकते हैं। किसी एक महत्तम[7] के लिए जो अंक l, m, n आते हैं उन्हें लावे अंक[8] कहा जाता है।

डब्लू. एल. ब्रैग ने विवर्तित दंड[9] की प्राप्ति के प्रतिबंध को एक बड़े सरल रूप में व्यक्त किया है। एक ऐसा बिन्दु $x' \, y' \, z'$ कल्पित कीजिए कि उससे α, β, γ दिशा में प्रकीर्णित किरण में और मूलबिन्दु से उसी दिशा में प्रकीर्णित किरण में पथान्तर शून्य हो। तब

$$x' a\,(\text{कोज्या } \alpha_o - \text{कोज्या } \alpha) + y' b\,(\text{कोज्या } \beta_o - \text{कोज्या } \beta) + z'c\,(\text{कोज्या } \gamma_o - \text{कोज्या } \gamma) = o,$$

या $\lambda(lx' + my' + nz') = o$

1. Reinforce 2. Scattering 3. Incident 4. Wave front 5. Steps 6. Observe 7. Maximum 8. Laue numbers 9. Beam

यह समीकरण एक ब्यूह-तल[1] का प्रतिदर्शन करता है। यदि किसी तल के लिए, जिस पर बिन्दुओं की परिमित संख्या स्थित हो, हम हाइजिंस रचना लागू करें, तो परावर्तित किरण की दिशा ही ऐसी होगी कि विभिन्न बिन्दुओं से प्राप्त किरणों में पथान्तर शून्य हो। इसलिए किसी एक तल के सब बिन्दुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाओं के प्रबलन की दिशा वही है जो परावर्तित किरण की दिशा है; और यही प्रतिबंध उससे समांतर प्रत्येक तल के लिए पूरित होगा। अब इस दिशा में समस्त तरंगिकाओं के प्रबलन के लिए प्रतिबंध इतना मात्र रह जाता है कि उत्तरोत्तर समांतर तलों से परावर्तित तरंगें परस्पर प्रबलन करें।

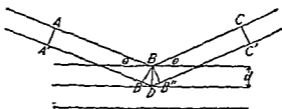
यह प्रतिबंध सरलता से प्राप्त हो जाता है।

आकृति ३ में $A\,B$ और $A'\,B'$ आपाती तरंगाग्र AA' के अभिलम्ब हैं। यदि B और D दो निकटवर्ती तलों पर संगत बिन्दु हैं, तो किरण ABC और $A'B'\,DB''\,C'$ के बीच पथान्तर होगा

$$B'D+DB''=2d \text{ ज्या } \theta$$

अतः उत्तरोत्तर तलों से परावर्तित किरणें प्रबलन करें इसका प्रतिबंध होगा कि यह पथांतर तरंग-दैर्घ्य के पूर्णांक गुणक के बराबर हो, अर्थात्

$$2d \text{ ज्या } \theta=N\lambda \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

यह ब्रैग नियम कहलाता है। प्रकाशिकी[2] में रेखिल ग्रेटिंग[3] की तुलना में N को "परावर्तन की कोटि"[4] कहा जाता है।

आकृति ३—ब्रैग प्रतिबंध।

समीकरण (4) को काम लाने के लिए तलों के अंतरण[5] को जानना आवश्यक है। सार्व रूप से, अक्षों के बीच के कोण λ, μ, γ हों तो—

1. Net plane 2. Optics 3. Line grating 4. Order of reflection
5. Spacing

$$d^2 = \frac{1-\text{कोज्या}^2\lambda-\text{कोज्या}^2\mu-\text{कोज्या}^2\gamma+2\,\text{कोज्या}\lambda\,\text{कोज्या}\,\mu\,\text{कोज्या}\gamma}{\left\{\frac{h^2}{a^2}\text{ज्या}^2\lambda+\frac{j^2}{b^2}\text{ज्या}^2\mu+\frac{k^2}{c^2}\text{ज्या}^2\gamma+\frac{2hj}{ab}(\text{कोज्या}\,\mu\;\text{कोज्या}\lambda-\text{कोज्या}\gamma)+\frac{2jk}{bc}(\text{कोज्या}\gamma\;\text{कोज्या}\,\mu-\text{कोज्या}\lambda)+\frac{2kh}{ca}(\text{कोज्या}\lambda\;\text{कोज्या}\gamma-\text{कोज्या}\,\mu)\right\}} \cdots\cdots (5)$$

समकोणीय अक्षों के लिए ब्रैग नियम हो जाता है—

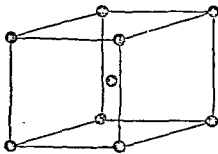
$$2\ \text{ज्या}\ \theta=\lambda\sqrt{\frac{l^2}{a^2}+\frac{m^2}{b^2}+\frac{n^2}{c^2}} \cdots\cdots (6)$$

और $a=b=c$ होने पर

$$2a\ \text{ज्या}\ \theta=\lambda\sqrt{l^2+m^2+n^2} \cdots\cdots (7)$$

रचना गुणांक[1]—अब तक हमने एक ही प्रकीर्णक[2] विन्दु धारण करनेवाली कोपा[3] पर विचार किया है। जब कोपा में अनेक विन्दु हों तो उपर्युक्त विश्लेषण से प्रत्येक कोपा के सगत विन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाओं के प्रबलन का ही प्रतिबंध प्राप्त होता है। एक ही कोपा के विभिन्न अगों से प्राप्त तरंगिकाओं मे परस्पर व्यतिकरण[4] भी होगा, और फलत. जो प्रत्य प्राप्त होता है उसकी विभिन्न कोटियों[5] में तीव्रता सम्बन्धी रूपातर हो जायेगा। इस प्रभाव से कभी-कभी तो कुछ कोटियाँ पूर्णतः लुप्त हो जाती हैं।

आकृति ४—पिंड-केन्द्रीय घनक।

1. Structure factor 2. Scattering 3. Cell 4 Interference 5. Orders

इस बात के उदाहरण स्वरूप एक पिंड-केन्द्रीय[1] घनक वर्ग[2] के मणिभ पर विचार कीजिए। ऐसे मणिभ की एकांक कोषा एक घनक[3] नहीं है। बल्कि लैटिस को आकृति ४ में बताये गये स्वरूप की कोषाओं से बना मान सकते हैं। कोषा के केन्द्र पर भी एक प्रकीर्णक विन्दु है, ठीक वैसा ही जैसा प्रत्येक कोने पर है। यह तुरंत स्पष्ट होगा कि घनक के फलक[4] के समांतर तलों के लिए विषम कोटियों[5] के परावर्तन नष्ट हो जायेंगे, क्योंकि तलों के अंतरण[6] घनक की कोर[7] के आधे होंगे। सार्वतः, यदि समीकरण (3) को संतुष्ट करनेवाले लावे अंक l, m, n हैं, तो कर्ण के दो सिरों से उत्पन्न किरणों के बीच पथांतर होगा $\lambda\ (l+m+n)$, और मूल विन्दु और केन्द्र से उत्पन्न किरणों के बीच पथांतर होगा $\frac{1}{2}\lambda\ (l+m+n)$, अतः यदि केन्द्र विन्दुवाली तरंगिका को कोनों वाली से समान कला में[8] होना है तो $l+m+n$ सम[9] होना चाहिए। जिन विवर्तन महत्तमों[10] के लिए यह प्रतिबंध पूरित नहीं होता वे नष्ट हो जायेंगे।

संदर्भ

क. Louis de Broglie, "Dissertation" Masson, Paris, 1924; *Phil. Mag.*, 47, 446, 1924; *Ann. Phys.*, 3, 22, 1925.

1. Body-centred 2. Cubic type 3. Cube 4. Face 5. Odd orders
6. Spacings 7. Edge 8. In phase 9. Even 10. Diffraction maxima

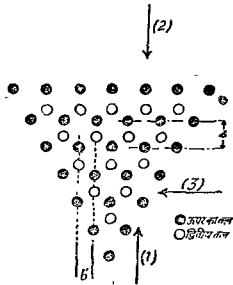
अध्याय २

प्रारंभिक प्रयोगात्मक कार्य

इलेक्ट्रान विवर्तन पर पहला प्रकाशित प्रयोगात्मक कार्य डेविसन और जर्मर[क] का था। उन्होंने मंद इलेक्ट्रानों का एक समाग दड[1] निकल के एक एकाकी मणिभ के (111) पृष्ठ पर गिराया, और प्रकीर्णित किरणो की तीव्रता का अध्ययन एक फैराडे बेलन रूपी सग्राही से किया जो एक सुग्राही धारामापी[2] से संबधित था। यद्यपि यह कार्य बडे ऐतिहासिक महत्त्व का है, तथापि यहाँ इस पर केवल सक्षिप्त ही विचार किया जायगा, क्योंकि इस विषय का बाद का अधिकाश विकास द्रुत इलेक्ट्रानों से ही हुआ है, मद इलेक्ट्रानों से नही, जिन्हें डेविसन ने प्रयुक्त किया था। डेविसन के प्रयोगो में समस्त उपकरण को पूर्णतः बन्द, उच्चत. निर्वातित[3] और विगैसित[4] किया जाता था। एक टगस्टन ततु से प्राप्त इलेक्ट्रानों को स्थिरवैद्युत बलक्षेत्र[5] द्वारा त्वरित[6] किया जाता था। यह क्षेत्र अनेक पट्टिकाओ के बीच स्थापित किया जाता था, और प्रत्येक पट्टी के बीच एक बारीक रंध्र होता था जो एक सकरे दंड का परिसीमन[7] करता था। यह इलेक्ट्रान दड मणिभ के पृष्ठ पर गिरता था, जिसे दंड के समातर अक्ष पर घुमाया जा सकता था। प्रयुक्त वोल्टता का परास[8] लगभग ३०--६०० वोल्ट था, और त्वारक की वोल्टता के ९/१० के बराबर एक विपरीत विभव[9] सग्राही के भीतरी और बाहरी प्रकोष्ठो के बीच लगाया जाता था, ताकि अपनी ऊर्जा का १/१० से अधिक अंश खो देनेवाले इलेक्ट्रान एकत्र न हो पायें। इस प्रकार केवल वे इलेक्ट्रान जिन्होंने ऊर्जा नही खोयी है, और फलतः जिनका तरंग-दैर्घ्य परिवर्तित नही हुआ है, इस कार्य में प्रेक्षित किये गये। सग्राही को समजित[10] करके भिन्न-भिन्न कोणों पर प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का प्रेक्षण किया जा सकता था। इसके लिए केवल उपकरण की धारणकर्ता नली को झुकाना

1. Homogeneous beam 2. Sensitive galvanometer 3. Evacuated 4. Degassed 5. Electrostatic field 6. Accelerate 7. Define 8. Range 9. Potential 10. Adjust

पड़ता था, और मणिभ को समुचित दिगंश[1] पर घुमाने के लिए भी ऐसी ही क्रिया की जाती थी।

क्रिया-विधि इस प्रकार थी कि मणिभ और संग्राही की एक संस्थिति[2] के लिए तीव्रता और वोल्टता के बीच एक वक्र खींचा जाता था। ऐसे अनेक वक्र संग्राही की विभिन्न संस्थितियों के लिए प्राप्त कर लिये जाते थे, और फिर इनसे एक-एक नियत वोल्टता के लिए तीव्रता और प्रकीर्णन कोण के बीच संबंध बतानेवाले सम-अक्षांशी[3] वक्र प्राप्त किये जाते थे।

आकृति ५—निकल के मणिभ के (III) फलक[4] का दृश्य।

इन प्रयोगों से प्राप्त फलों के विवेचन से पूर्व तनिक प्रयुक्त मणिभ पर विचार कर लें। निकल के फलक-केन्द्रीय[5] घनक बनते हैं, अतः (III) फलक का दृश्य ऐसा होता है जैसा आकृति ५ में बताया गया है। पृष्ठ के समान्तरवाले व्यूह तलों[6] में परमाणु समबाहु त्रिभुजों के कोनों पर स्थित होते हैं, और प्रत्येक उत्तरोत्तर तल अपने ऊपर के तल से ऐसा विस्थापित होता है कि प्रत्येक तल के परमाणु ऊपरवाले तल के परमाणुओं के त्रिभुजों के केन्द्रक[7] से ऊर्ध्वतः नीचे होते हैं।

1. Azimuth 2. Setting 3. Co-latitude 4. Face 5. Face-centred 6. Net planes 7. Centroid

तीन दिगंश[1] ऐसे हैं जिनमें परमाणुओं की जमावट की विशेष सममिति[2] प्रकट होती है। आकृति ५ में इन्हें (1), (2), (3) से अंकित किया है। तीर चिह्न आपाती दंड[3] के सापेक्ष[4] ग्राही की दिशा व्यक्त करते हैं। (1) और (2) प्रत्येक 360° घूर्णन[5] में तीन बार घटित होते हैं और (3) छ बार। (1) और (2) में भिन्नता का कारण यह है कि उत्तरोत्तर तल किसी एक तल के परमाणुओं के अन्तरण का $\frac{1}{3}$ भाग विस्थापित होते हैं। सार्व रूप से यह पाया गया कि विकीर्णित इलेक्ट्रानों की तीव्रता अभिलम्ब की ओर जाने में लगातार बढ़ती है, किन्तु मणिभ को दिगंश (1) में रखने पर 54-वोल्टवाले सम-अक्षांशी वक्र में 50° कोण पर एक सुस्पष्ट उठान[6] प्रकट होता है। अब यदि मणिभ को दिगंश में 360° घूर्णित किया जाय, तो यह चोटी तीन स्थितियों में प्रकट होती है, जो सस्थिति (1) की तीन घटनाओं से संगत है, और तीन गौण चोटियाँ भी सस्थिति (2) के संगत आती हैं। यदि मणिभ को प्रारंभ में ही दिगंश (2) में रखकर त्वरक विभव बदलें, तो लगभग 50 वोल्ट पर वक्र में एक सुस्पष्ट चोटी उत्पन्न होती है। यह अभिलम्ब से 44° पर आती है। अब मणिभ को घूर्णित करने से 360° में तीन बार स्थिति (2) से संगत मुख्य चोटियाँ आती हैं, और तीन गौण चोटियाँ स्थिति (1) से संगत। प्रारंभिक सस्थिति दिगंश (3) के लिए करें तो घूर्णन में छ चोटियाँ प्राप्त होती हैं। वोल्टता और अधिक बढ़ाने से प्रत्येक दिगंश में और भी चोटियाँ प्रकट होती हैं। इन महत्तम बिन्दुओं का आना स्वयमेव ही विवर्तन का सूचक था, किन्तु डेविसन और जर्मर और भी आगे गये।

विभिन्न परमाणुओं से विकीर्णित तरंगिकाएँ प्रबलन करें इसके प्रतिबंध को दो प्रतिबंधों में बाँटा जा सकता है। पहले एक नियत दिगंश के लिए हम प्रत्येक तल को एक रेखिल[7] ग्रेटिंग मान सकते हैं, जिसकी रेखाओं का अंतरण[8] आकृति ५ में दिखाया गया है। ऐसी ग्रेटिंग पर तरंगों के अभिलम्ब आपात से विवर्तित दंडों की अनेक कोटियाँ[9] उत्पन्न होंगी, जिनके प्रतिबंध होंगे (*A*) b ज्या $\theta = n\lambda$ सस्थिति (1) तथा (2) के लिए, और (*B*) b' ज्या $\theta = n\lambda$ सस्थिति (3) के लिए। यदि डी ब्रॉगली नियम सत्य है, तो

$$\lambda = \frac{h}{\text{संवेग}} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2m\frac{Pe}{300}}},$$

1. Azimuths 2. Symmetry 3. Incident beam 4. With respect to 5. Rotation 6. Pronounced spur 7. Line 8. Spacing 9. Orders

जिसमें P त्वारक की वोल्टता है, और शेष संकेत अपना सामान्य अर्थ रखते हैं। नियतांकों के मान रखने पर यह व्यंजक[1] बन जाता है

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{P}} . 10^{-8} \text{ सें॰ मी॰} \qquad (1)$$

अब, b और b' के मान X–किरण सम्बन्धी कार्य से ज्ञात थे, और डेविसन और जर्मर नें देखा कि θ के प्रायोगिक मानों से व्यंजक (A) तथा (B) द्वारा तरंग-दैर्घ्य के जो मान आते हैं वे डी ब्रोगली नियम पर आधारित व्यंजक (1) के मान से मेल खाते हैं।

फिर यदि हम विवर्तन के दूसरे प्रतिबंध पर ध्यान दें—कि उत्तरोत्तर तलों के संगत बिन्दुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाएँ प्रवलन करें—तो हमें पूर्वोक्त तीन दिगंशों के लिए ये प्रतिबंध मिलते हैं :—

दिगंश (1) $\quad a \text{ कोज्या } \theta - \frac{b}{3} \text{ ज्या } \theta = n'\lambda$

दिगंश (2) $\quad a \text{ कोज्या } \theta + \frac{b}{3} \text{ ज्या } \theta = n'\lambda$

दिगंश (3) $\quad a \text{ कोज्या } \theta = n'\lambda$

यह पाया गया कि यद्यपि चोटियाँ पहले प्रतिबंध का पालन करती हैं, दूसरा प्रतिबंध पालित नहीं होता।

बाद के कार्य में डेविसन और जर्मर ने अभिलम्ब आपात से भिन्न आपात कोण काम में लिये। सग्राही का समंजन ऐसा किया कि वह पृष्ठीय परावर्तनवाले दंड को ग्रहण करे, और त्वारक की वोल्टता को क्रम से बदला। इसमें फिर अनेक चोटियाँ प्राप्त हुईं, और ये ब्रैग परावर्तन की विभिन्न कोटियों से संगत होनी चाहिए थीं। किन्तु इस बार भी वैषम्य[1] आया, और चोटियाँ ठीक उन जगहों पर नहीं आयी जहाँ सिद्धान्त ने उद्घोषित की थीं। प्राप्त महत्तम बिन्दुओं से संगत तरंग-दैर्घ्य उन तरंग दैर्घ्यों से कुछ उच्चतर आये जिन पर प्रबल परावर्तन प्रत्याशित था।

सिद्धान्त और प्रयोग के बीच इस वैषम्य का अधिकांश भाग अब एक वर्तनांक[2] प्रभाव द्वारा समझाया जा चुका है, जिसके अनुसार मणिभ के आयतन[3] में मध्यमान विभव[4] वही नहीं होता जो स्वतंत्र आकाश[5] में होता है। इस प्रभाव को गणना में

1. Discrepancy 2. Refraction Index 3. Bulk 4. Potential 5. Free space

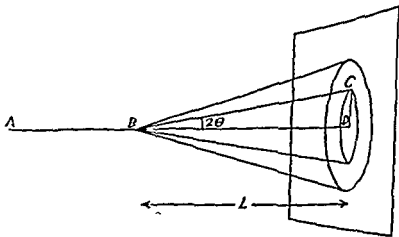
लेकर भी एक अल्प वैषम्य रह जाता है, किन्तु ऐसा प्रतीत होता है कि मणिभ को पहले अनेक प्रकीर्णक बिन्दुओं से बना मानने, और फिर उसमें एक समान विभव-वितरण मानने की आदर्श कल्पना के बजाय यदि उसे एक प्रत्यावर्ती विभव-क्षेत्र[1] माने तो इसका समाधान हो जायेगा। वास्तव में मोर्स[ए] ने ऐसा किया है; वह मणिभ का ऐसा माध्यम मानता है जिसमें विभव वितरण का स्वरूप है—

$$V = \sum_l A_l e^{\frac{il2\pi x}{a}} + \sum_m B_m e^{\frac{im2\pi y}{b}} + \sum_n C_n e^{\frac{in2\pi z}{c}},$$

जहाँ a, b, c लैटिस अंतरण हैं। इस मान्यता पर जो फल प्राप्त होते हैं, वे डेविसन और जर्मर के प्रयोगों से अच्छा मेल खाते हैं।

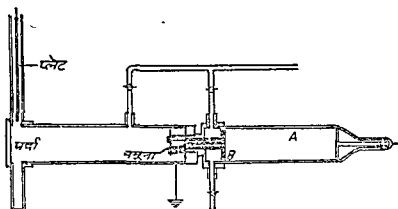
पतले पटलों से पारगमन[2] में विवर्तन—डेविसन और जर्मर के कार्य के प्रकाशन के कुछ ही बाद जी० पी० टॉमसन के सुझाव पर ए० रीड[ग] द्वारा की गयी एक प्रयोग-शृंखला का विवरण प्रकाशित हुआ। इन प्रयोगों में किसी गैस विसर्गनली[3] से प्राप्त द्रुत इलेक्ट्रानों का एक दंड एक बारीक नलिका से गुजरता था, और फिर एक स्थिर वैद्युत बलक्षेत्र द्वारा विक्षेपित[4] होकर 25 मि० मी० व्यास के एक छोटे छिद्र से निकलता था। छिद्र के ठीक पीछे ही सेल्यूलायड का एक 10^{-6} सें० मी० की कोटि की मोटाई का पतला पटल रखा जाता था। सेल्यूलायड का ऐमाइल एसीटेट में घोल बनाकर, घोल की एक बूंद को स्वच्छ पानी के पृष्ठ पर फैलाकर यह पटल प्राप्त किया जाता था। किरणों के पटल के पार संचरण से जो वितरण प्रकट बनता था उसे अंकित करने के लिए एक फोटोग्राफी प्लेट छिद्र से 30 सें० मी० दूर दंड से अभिलम्बतः रखी जाती थी। तीव्र केन्द्रीय धब्बे[5] के अतिरिक्त कुछ प्लेटों पर एक, दो, या तीन काफी धुंधले वलय[6] प्राप्त हुए। इस फल की व्याख्या के लिए मानना पड़ता था कि तरंगें विकीर्णक केन्द्रों के एक बादल से गुजरती हैं, जिसमें कोई एक विशेष दूरी प्रमुखता रखती है। वलयों के व्यास सन्निकटतः 1 : 2 : 3 के अनुपात में पाये गये, जिसका संकेत था कि ये वलय एक ही अंतरण से संगत विवर्तन की तीन क्रमिक कोटियों[7] हैं। सेल्यूलायड की मणिभ बनावट ज्ञात न होने से वास्तविक तरंग-दैर्घ्य की गणना तो असंभव थी, किंतु इसके मान का परिमाप[8] डी ब्रोग्ली सूत्र के उपयुक्त कोटि का

1. Alternating potential field. 2. Transmission 3. Discharge tube 4. Deflect 5. Spot 6. Rings 7. Successive order 8. Estimate

ही पाया गया। प्रयोगकर्ताओं ने दर्शाया कि किसी एक वलय के लिए $D\sqrt{P}$ अच
रहता था, जिसमें D वलय का व्यास और P इलेक्ट्रानों की वोल्टता है। य
सिद्धान्त के अनुकूल बैठता है।

आकृति ६—एक पतले पटल से पारगमन।

धातु के पटल—सेल्यूलायड फिल्मों के बाद जी० पी० टॉमसन[घ] ने वैसे ही प्रयोग ज्ञात मणिभ बनावट के धातु पटलों से किये। इसके विवरण से पहले यह देखना लाभकारी होगा कि एक बहुमणिभी[1] पटल के पार डी ब्रॉगली तरंगों के संचरण में हमें क्या होने की आशा करनी चाहिए। जैसा X–किरणों के साथ डिबाइ-शैरर चूर्ण विधि में होता है, बहुमणिभी पटल में कुछ मणिभ ठीक ऐसे कोण पर संस्थित होंगे कि अपने किसी तल-समूह से ब्रैग परावर्तन दें। यदि काफी मणिभ यदृच्छतः[2] वितरित हैं, तो इन परावर्तनों के कारण वलयों की एक श्रेणी प्राप्त होगी। मान लीजिए आकृति ६ में $A\,B$ आपाती दंड है, जो B पर पटल को पार करता है, और $B\,C$ एक दंड है जो पटल के किसी छोटे मणिभ से ब्रैग परावर्तन द्वारा प्राप्त हुआ है। तो कोण $DBC=2\theta$, जहाँ θ ऐसा है कि $n\lambda=2d\sin\theta$, जिसमें n परावर्तन की कोटि है, और d परावर्तन उत्पन्न करनेवाले तलों का अंतरण[3]। इलेक्ट्रानों के लिए

1. Polycrystalline 2. Randomly 3. Spacing

θ बहुत छोटा होता है, इसलिए हम लिख सकते हैं $n\lambda = 2d\theta$ और $2\theta = \frac{D}{L}$, जहाँ D वलय का अर्ध व्यास और L पटल से प्लेट की दूरी है। फलत $D = \frac{Ln\lambda}{d}$.

आकृति ७—जी० पी० टॉमसन का प्रारभिक उपकरण।

टॉमसन ने अनेक भिन्न-भिन्न धातुओं के पटल काम मे लिये, जिन्हें अनेक भिन्न विधियों से तैयार किया जाता था। कुछ तो व्यावसायिक पटलों को समुचित विलायकों[1] द्वारा पतला कर प्राप्त किये जाते थे, कुछ रौक-सारट या कोलोडियन के आधार पर धातुओं का स्पटरन[2] करके बाद मे आधार को विलायन द्वारा हटाकर।

इलेक्ट्रान विवर्तन में प्रयुक्त उपकरण आकृति ७ में बताया गया है। ऋणाग्र किरणों[3] का एक दड[4] गैस विसर्ग नली A मे प्रेरण-कुंडल[5] द्वारा उत्पन्न किया जाता था, और बारीक नलिका B से एक किरण-शलाका गुजरती थी जिसे मृदु लोहे की एक चुम्बकीय खोल[6] घेरे रहती थी। नलिका के पार होकर इलेक्ट्रानों की शलाका प्रयोगाधीन पटल के पार गुजरती थी, और प्ररूप[7] को पटल से लगभग 30 से० मी० दूर एक फोटोग्राफी प्लेट पर अंकित कर लेते थे। प्लेट को एक चुम्बकीय नियत्रण से दो अवस्थानों में नीचे लाया जा सकता था, ताकि एक प्लेट पर दो अभिलेख लिये जा

1. Solvents 2. Sputtering 3. Cathode rays 4. Beam 5. Induction Coil 6. Shield 7. Pattern 8. Fluorescent

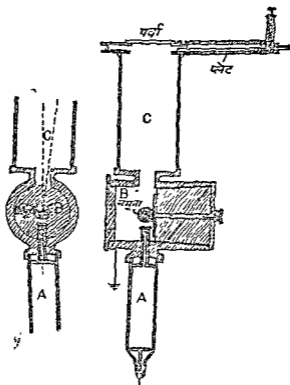
सकें। प्लेट से परे एक प्रतिदीप्त पर्दा होता था, ताकि प्लेट को नीचे लाने से पूर्व दृष्टि से ही प्ररूप का अध्ययन कर सकें। कैमरा भाग को उच्चतः निर्वातित[1] रखा जाता था, और विसर्ग नली में एक सुई-वाल्व के मार्ग से हवा को क्षरित[2] होने दिया जाता था। क्योंकि कैमरा और विसर्ग नली के बीच एकमात्र सम्बन्ध बारीक नलिका B से होता था, इसलिए यह संभव हो पाता था कि कैमरा को निम्न दाब पर रखकर भी विसर्ग नली को 'नरम'[3] रखा जाये, जिससे वह प्रयुक्त वोल्टताओं पर तीव्र इलेक्ट्रान दंड दे सके। प्रयुक्त विभव १० से ४० किलोवोल्ट तक बदला जाता था और स्फुलिंग-दूरी[4] विधि से मापा जाता था। प्रेरण-कुंडल से प्राप्त धारा को एक वाल्व से ऋजुकृत[5] किया जाता था, और बाद के प्रयोगों में अनेक साम्यकारी[6] संधारित्र[7] विसर्ग नली के समांतर लगाये जाते थे।

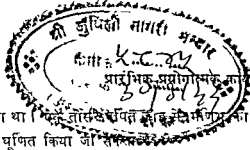
प्रत्येक दशा में, प्ररूप में सामान्य प्रभाव होता था एक अविवर्तित केन्द्रीय धब्बा और उसे घेरे हुए सकेन्द्र वलयों की एक श्रेणी। अनेक प्ररूपों में तीव्रता वलयों के सब भागों में समान होती थी, किन्तु कुछ में वलय अनेक चापों[8] में बँटे होते थे। कुछ ऐसे भी प्ररूप पाये गये जिनमें X–किरणों से प्राप्त मणिभ बनावट के आधार पर प्रत्याशित वलय लुप्त या अत्यंत क्षीण होते थे। इन सब विचित्रताओं की संतोषजनक व्याख्या मणिभ आकार[9] और दैशिकता[10] के विचारों से की गयी है, जिनके प्रभावों पर अगले अध्याय में प्रकाश डाला जायेगा।

किरणों को एक चुम्बकीय बलक्षेत्र द्वारा विक्षेपित[11] करके यह सिद्ध कर दिया गया कि प्राप्त प्ररूप[12] ऋणाग्र किरणों के ही कारण होता है, क्योंकि बलक्षेत्र को लगाने से सारा प्ररूप एक ओर खिसक जाता है, और वलयवर्ग अविवर्तित दंड द्वारा उत्पन्न धब्बे से सकेन्द्र बने रहते हैं। यह भी दर्शाया गया कि वलय बनानेवाले इलेक्ट्रानों की वोल्टता, प्रयोगात्मक त्रुटि की सीमा के भीतर, जो एक प्रतिशत से कम थी, केन्द्रीय धब्बा बनानेवाले इलेक्ट्रानों की वोल्टता के बराबर होती है।

डी ब्रोगली नियम के सत्यापन के लिए विभिन्न धातुओं के लिए इस प्रयोग से मणिभ अक्षों की गणना की जाती थी, और फिर इन लम्बाइयों की तुलना X-किरणों से प्राप्त मानों से की जाती थी। ये मान प्रयोगात्मक त्रुटियों की सीमा के भीतर,

1. Evacuated 2. Leak 3. Soft 4. Spark gap 5. Rectify
6. Smoothing 7. Condenser 8. Arcs 9. Crystal size 10. Orientation
11. Deflect 12. Pattern

मुख्य गुण आकृति ८ में दर्शाये गये हैं। A एक गैस विसर्ग नली है, जो एक प्रेरण-कुंडल से[1] क्रियान्वित होती थी, जिसकी धारा एक वाल्व से ऋजुकृत[2] और एक सधारित्र[3] से समीकृत[4] की जाती थी। इलेक्ट्रान एक बारीक नलिका से निकल कर नमूने पर टकराते थे, और विवर्तित किरणें एक विलेमाइट पर्दे पर गिरती थीं या फोटोग्राफी प्लेट पर जिसे एक घर्षित संयोजन[5] के बीच चलते दण्ड-चक्री[6] द्वारा पर्दे के सामने लाया जा सकता था। नमूने को दंड से लम्ब एक दिशा में खिसकाया जा सकता था, और इस दिशा और दंड की दिशा से लम्ब अक्ष पर घूर्णित[7] भी किया

आकृति ८—जी० पी० टॉमसन द्वारा कटाक्षी कोण पर परावर्तन द्वारा इलेक्ट्रानों को विवर्तित कराने के उपकरण का स्वरूप। स्पष्टता के लिए पप की नलियाँ नहीं दिखायी गयी हैं।

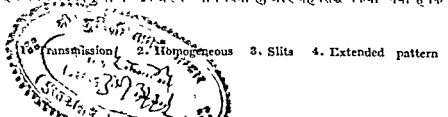
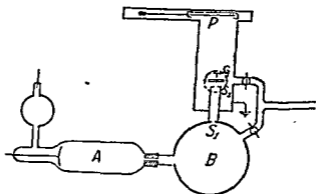
1. Induction coil 2. Rectified 3. Condenser 4. Smoothened
5. Ground joint 6. Rack and pinion 7. Rotate

जा सकता था। [illegible] मणिभ को परावर्तक पृष्ठ से अभिलम्ब अक्ष पर घूर्णित किया जो [illegible]

द्रुत इलेक्ट्रानो के दड को एकाकी मणिभ फलक पर कटाक्षी कोण से आपतित कराने से प्राप्त प्रह्पो मे, सार्वह्प से, अनेक अलग-अलग धब्बे प्राप्त हुए हैं, और कुछ बार प्लेटो पर ऋजु काली रेखाएँ भी प्राप्त हुई। ये रेखाएँ किकुची द्वारा प्राप्त उन रेखाओ से समरूपी थी, जिनका वर्णन अगले अनुच्छेद मे दिया गया है, और अवश्य ही इनका स्रोत भी वही है। बहुमणिभी पृष्ठों से वलय स्वरूप प्राप्त हुए, जैसे पारगमन[1] द्वारा प्राप्त होते है, केवल इस अतर से कि प्रत्येक वलय का आधे से अधिक भाग नमूने की प्रतिच्छाया से कटा होता था। इन प्रह्पो पर अध्याय ४ मे आगे विचार किया जायगा।

किकुची के पारगमन प्रयोग—आकृति ९ मे बताये गये उपकरण से किकुची च ने अभ्रक के पतले पटलों के पार सचरण से विवर्तन प्रह्प प्राप्त किये। विसर्ग नली A मे उत्पन्न ऋणाग्र किरणे B में एक चुम्बकीय बल-क्षेत्र से विक्षेपित की जाती थी, ताकि समाग[2] किरणो की एक पतली शलाका झिरी[3] S_1 और S_2 से निकले। अभ्रक का नमूना T पर स्थित होता था, और एक घर्षित सयोजन G द्वारा कागज के तल से अभिलम्ब अक्ष पर घूर्णित किया जा सकता था। प्रह्प को फोटोग्राफी प्लेट P पर अभिलिखित किया जाता था।

किरणो की वोल्टता, जो १० से ८५ किलोवोल्ट तक होती थी, विक्षेपी बल-क्षेत्र उत्पन्न करनेवाली कुडलियो की धारा से निर्धारित की जाती थी। किकुची ने दिखाया कि कुडलियों की धारा और ऋणाग्र किरणो के तरग-दैर्घ्य का गुणनफल एक नियताक आता है, अत ज्ञात रचना के एक अलूमीनियम पटल के नमूने की सहायता लेकर किसी भी कुडली धारा से सगत तरग-दैर्घ्य का निर्धारण हो जाता था।

तीन प्रकार के प्रह्प पाये गये, जो अभ्रक के पटल की मोटाई पर निर्भर थे। $१०^{-५}$ से० मी० की कोटि की मोटाई से धब्बो का एक विस्तृत प्रह्प[4] प्राप्त होता था, जो परस्पर ६०° कोण पर झुकी समातर पक्तियो के तीन सघातों का बना होता था। इस प्रह्प को किकुची ने "N-प्रह्प" नाम दिया है, और यह सिद्ध किया गया है कि

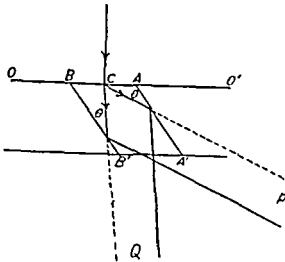
1. Transmission 2. Homogeneous 3. Slits 4. Extended pattern

अभ्रक के एक लैटिस तल के परमाणुओं द्वारा बनी ग्रेटिंग के अनुरूप समतल ग्रेटिंग द्वारा जो प्ररूप उत्पन्न होता, वही यह प्ररूप है (देखिए मुख पृष्ठ, आकृति १)।

आकृति ९—किकुची का उपकरण।

जब पटल इतना मोटा हो कि व्यतिकरण वर्ण[1] दिखाने लगे, तो N-प्ररूप का स्थान L-प्ररूप ले लेता है, जिसमें वृत्ताकार जमावट के अनेक धब्बे होते हैं (लावे धब्बो से मिलते-जुलते), और साथ ही अनेक काली और श्वेत रेखाएँ भी। पटल की मोटाई बढ़ाते जाने से धब्बे हलके पड़ते जाते हैं, किन्तु रेखाएँ टिकी रहती हैं, स्वय केन्द्रीय धब्बे के लुप्त हो जाने के बाद भी। इसे "P-प्ररूप" कहा जाता है। इन प्ररूपो के विषय में सबसे रोचक बातें है—द्वि-दिश[2] ग्रेटिंग से संगत धब्बों की शृंखलाओं का प्रकट होना, और काली और श्वेत रेखाओं का प्रकट होना। इन धब्बों की व्याख्या अगले अध्याय में की जायगी, किन्तु रेखाओं के विषय में अभी ही विचार करना सुविधाप्रद होगा।

किकुची रेखाओं का बनना—विवर्तन प्ररूपों में काली और श्वेत रेखाएँ युगल रूप से प्रकट होती है, और एक दूसरे के समातर होती हैं। काली रेखा से यहाँ फोटोग्राफी प्लेट पर काली रेखा का तात्पर्य है। यह रेखा प्राय. किसी धब्बे से गुजरती है, और तब इसकी दिशा उस धब्बे को मूल-बिन्दु से जोड़नेवाली रेखा से लम्ब होती है।

किकुची ने इन धब्बों के प्रकट होने की जो व्याख्या दी है, और जो सर्वतः मान्य है, वह इस प्रकार है। जब इलेक्ट्रान दंड मणिभ में प्रवेश करता है तो कुछ अंश में

1. Interference colours 2. Two Dimensional

विसरित प्रकीर्णन[3] होता है। ये प्रकीर्णित किरणें विभिन्न तल-संघातों[4] से, जिनसे ये ब्रैग कोण बनाती हैं, परावर्तित होती हैं। आकृति १० में मान लीजिए AA' और BB' सन्निभ तल हैं, और मान लीजिए आपाती किरण C पर विसरित प्रकीर्णित होती है तो AA' तल P की ओर प्रकीर्णित किरणों को दिशा Q में परावर्तित

आकृति १०—किकुची रेखाओं की उत्पत्ति।

कर देता है, और BB' तल Q की ओर प्रकीर्णित किरणों को दिशा P में परावर्तित कर देता है। संभवतः Q की ओर प्रकीर्णित किरणों की तीव्रता P की ओर प्रकीर्णित किरणों की अपेक्षा अधिक होगी, क्योंकि दिशा Q के लिए प्रकीर्णन कोण कम है। फलतः, AA' और BB' पर होनेवाले परावर्तनों के कारण, दिशा Q में लाभ कम होगा, हानि अधिक, और दिशा P में इसके विपरीत। इस प्रकार फोटो-ग्राफी प्लेट पर विसरित प्रकीर्णन से उत्पन्न सार्व हल्के कालेपन के बीच Q दिशा में श्वेतता आ जायगी, P दिशा में अधिक कालापन। यह ध्यान देने की बात है कि श्वेत रेखा सदैव काली रेखा की अपेक्षा केन्द्रीय धब्बे के निकटतर ही होनी चाहिए।

यद्यपि यह सिद्धान्त किकुची रेखाओं की उत्पत्ति की गुणात्मक व्याख्या करता है, तथापि यह सर्वथा पूर्ण नहीं है, क्योंकि विसरित प्रकीर्णन होता क्यों है, यह बात इससे

3. Diffuse scattering 4. Sets of planes

स्पष्ट नही होती। यदि हम मानें कि इलेक्ट्रानों की ऊर्जा में हानि नही होती, अर्थात् उनका प्रत्यास्थी[1] प्रकीर्णन हो रहा है, तो वास्तव में हम मणिभ पर आपाती समतल तरंगों पर विचार कर रहे होते हैं। उस दशा में सिद्धान्त की आज जो अवस्था है उसमें हमें विसरित विकिरण[2]-जैसी कोई बात नहीं मिलती। दूसरी ओर, यदि इलेक्ट्रानों को अप्रत्यास्थत:[3] प्रकीर्णित मानें, तो विसरित विकिरण तो होगा, किन्तु इस बार रेखाओं और धब्बों की जो पारस्परिक क्रिया प्रेक्षित है उसे समझना कठिन हो जाता है। कुछ दशाओं में, जब किकुची रेखाएँ किसी धब्बे के पास प्रतिच्छेद[4] करती हैं, तो उस धब्बे का अंशतः शमन[5] हो जाता है। इससे प्रतीत होता है कि रेखाएँ बनानेवाली किरणों में और धब्बे बनानेवाली किरणों में व्यतिकरण[6] होता है। यदि किकुची रेखाएँ उत्पन्न करनेवाला विसरित विकिरण अप्रत्यास्थी प्रकीर्णन से उत्पन्न होता है, और धब्बे प्रत्यास्थत: प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के कारण, तो उपर्युक्त व्यतिकरण असंभव होगा, क्योंकि अप्रत्यास्थी प्रकीर्णन में तरंग-दैर्घ्य का परिवर्तन होता है। अत: यही प्रायिक[7] दीखता है कि ये रेखाएँ, चाहे अंशतः ही सही, प्रत्यास्थतः प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के कारण होती हैं।

डी ब्रोगली नियम का और सत्यापन[8]—पूर्व वर्णित प्रयोगों में डी ब्रोगली नियम का सत्यापन 50–1000 वोल्ट तथा 10,000–85,000 वोल्ट के परास[9] के इलेक्ट्रानों के लिए हो गया था। इनके अतिरिक्त भी बहुत काम हुआ है, और इस सम्बन्ध में एम० पोण्टे[६९] का नाम उल्लेखनीय है, जिन्होंने द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए, चूर्णित यशद ऑक्साइड[10] का नमूना काम में लेकर, हजार में तीन भाग के भीतर-भीतर डी ब्रोगली नियम का सत्यापन किया है। रुप[७०] ने 150–300 वोल्टवाले इलेक्ट्रानों से पतले धातु-पटलों के पारगमन के प्रभावों का अध्ययन किया है। इसी परास के इलेक्ट्रानों को वे एक 1,300 रेखाएँ प्रति से० मी० वाली रेखिल ग्रेटिंग[11] से विवर्तित कराने में सफल हुए हैं। इस प्रभाव के समाधान के लिए आवश्यक तरंग दैर्घ्य डी ब्रोगली सिद्धान्त से प्राप्त मान से सन्निकटत: मेल खाता है। वी० एल० वर्सनाप[७१] ने भी ऐसा ही एक प्रयोग किया है। अनेक अन्य कार्यकर्ताओं ने मद इलेक्ट्रानों के लिए डी ब्रोगली नियम सत्यापित किया है। टिलमैन ने, मणिभों के आंतरिक विभव[12] सम्बन्धी कुछ

1. Elastic 2. Diffuse radiation 3. Inelastically 4. Intersect 5. Suppression. 6. Interference 7. Probable 8. Verification 9. Range 10. Zinc oxide 11. Line grating 12. Inner potential

कार्य में, 3–6 किलोवोल्ट का परास काम में लिया है, जिसमें डी ब्रोगली नियम सत्य उतरता है। रुप और जी० पी० टॉमसन दोनों ने इलेक्ट्रानों के ध्रुवण[1] सम्बन्धी कार्य में, 200 किलोवोल्ट की कोटि की वोल्टताओं के लिए डी ब्रोगली नियम को सत्य पाया है।

१९३५ में जे० वी० ह्यूजेज[28] प्रकाश-वेग के तुल्य वेगवाले इलेक्ट्रानों के लिए इस नियम का सत्यापन करने में सफल हुए हैं। प्रयुक्त उपकरण में मूलत एक लगभग 2 मीटर लम्बी नली थी, जिसे उच्चत निर्वातित किया जा सकता था, और जिसे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में रखा जाता था। इलेक्ट्रानों का स्रोत एक छोटी और पतली दीवारों की नलिका में बन्द रैडोन गैस होती थी, जो अपने उत्पादनों[2] से सतुलन में रहती थी। इस रैडोन नलिका को निचले सिरे पर रखा जाता था। नली के मध्य भाग में, उससे सम-अक्षीय, एक लम्बी बेलनाकार सीसे की रोक लगी होती थी जिसके कारण γ किरणें नली के ऊपरी भाग पर लगी फोटो-प्लेट को कलुषित[3] नहीं कर पाती थी। नली के लगभग मध्य भाग के चारों ओर लिपटी एक बडी सगमकारी कुडली[4] के द्वारा रैडोन के लाक्षणिक[5] β विकिरणों में से किसी एक को प्लेट पर सगमित किया जा सकता था। सगमन क्रिया के बारे में अतिम अध्याय में और विचार किया जायेगा। β किरणें स्रोत से चलती थी, नली की दीवारों तथा रोक के बीच की संध में से गुजरती थी, और फिर कुंडली द्वारा प्लेट पर एक बिन्दु पर सगमित हो जाती थी। किस ऊर्जा का विकिरण सगमित हुआ है इसका ज्ञान सगमकारी धारा तथा उपकरण के अन्य परिमाणों से प्राप्त हो जाता था। नमूना, जो निकल की एक जाली पर स्थित जिलेटिन पटल पर स्पटरित[6] पतली स्वर्ण की तह के रूप में होता था, नली के भीतर सगमकारी कुडली से ऊपर रखा जाता था। फोटोग्राफी फिल्म पर पहुँचनेवाले सभी इलेक्ट्रानों को इस स्वर्ण तह से पार होना पड़ता था। 250 से 1000 किलोवोल्ट के परास में अनेक वोल्टताओं से चित्र लिये गये, और इनमें एक, दो या कभी तीन काफी बारीक वलय प्राप्त हुए। इन वलयों के आकार से परिगणित तरंग-दैर्घ्य डी ब्रोगली तरग-दैर्घ्य से, प्रयोगात्मक त्रुटि के भीतर-भीतर, मेल खाते थे।

1. Polarisation 2. Products 3. Blacken 4. Focussing coil 5. Characteristic 6 Sputtered

संदर्भ

क—C. Davisson and L. H. Germer, *Phys. Rev.*, 30, 707, 1927.

ख—P. M. Morse, *Phys. Rev.*, 35, 1310, 1930.

ग—G. P. Thomson and A. Reid, *Nature*, 119, 890, 1927.

घ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 117A, 600, 1928.

ङ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 128A, 641, 1930.

च—S. Kikuchi, *Proc. Imp. Acad. Jap.*, 4, 271, 275, 354, 471, 1928; *Jap. Journ. of Phys.*, 5, 83, 1928.

छ—M. Ponte, *Ann. de Phys.* 13, 395, 1930.

ज—E. Rupp. *Ann. Phys.*, 85, 981, 1928; Z. *Phys.*, 52, 8, 1929.

झ—B. L. Worsnop, *Nature*, 123, 164, 1929.

ञ—*J. V.* Hughes, *Phil. Mag.*, 19, 129, 1935.

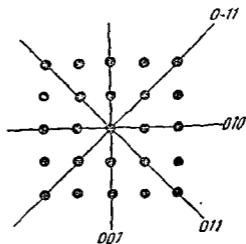
अध्याय ३

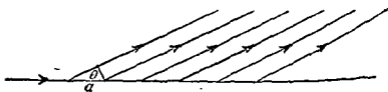
पतले पटलों के पार संचरण से विवर्तन

एकाकी मणिभ के पार संचरण—गत अध्याय में किकुची के फलों का उल्लेख किया जा चुका है, जिन्होंने अभ्रक के एक पतले पटल के पार संचरण से विवर्तन प्ररूप प्राप्त किये। जब पटल 10^{-6} से० मी० की कोटि की मोटाई का होता था तो धब्बों का एक विस्तृत प्ररूप[1] प्राप्त होता था, और यह संकेत किया जा चुका है कि इसकी व्याख्या हो जायेगी, यदि हम विवर्तन को एक क्रास-ग्रेटिंग[2] से उत्पन्न मानें, यथा मणिभ के व्यूह-तलों[3] में से एक। इस प्रकार के क्रास-ग्रेटिंग प्ररूप इलेक्ट्रान विवर्तन में बहुत बार आते हैं, और प्रश्न यह होता है कि त्रिदिश मणिभ कैसे एक द्विदिश ग्रेटिंग-जैसी क्रिया कर सकता है?

डब्लू० एल० ब्रैग[51] ने इसकी एक व्याख्या दी, जो मणिभ की थोड़ी-सी विकृति[4] की मान्यता पर आधारित है। मान लीजिए कोई "कटिबंध अक्ष"[5], अर्थात् एक अक्ष जो अनेक तलों के बीच सर्वनिष्ठ[6] हो, किरण-दंड के साथ एक अल्प कोण बनाता है। अक्ष की दिशा में देखने से ये तल कोर से[7] देखने के समान होंगे, अतः रेखाएँ ही प्रतीत होंगे। आकृति ११ में एक घनक रचना[8] का एक "कटिबंध अक्ष" की दिशा (इस बार घनक की कोर) से अवलोकित दृश्य प्रतिदर्शित है। कुछ मुख्य तल अंकित कर दिये गये हैं। इन रेखाओं को और इनके समांतर रेखाओं को कागज से अभिलम्ब तल कल्पित करना चाहिए। तब एक क्रास ग्रेटिंग का रूप स्पष्ट हो जायेगा। यदि किरण-दंड इन तलों में किसी एक तल-संघात से समुचित कोण बनाता है, तो प्राप्त प्ररूप में तत्संगत एक धब्बा उत्पन्न हो जायेगा। एक साथ बहुत से तल-संघातों से धब्बों की उत्पत्ति को समझाने के लिए ब्रेग ने "कटिबंध अक्ष" को थोड़ा-सा वक्र माना, जो मणिभ की विकृति के फलस्वरूप होता है। इसके कारण मणिभ के किसी न किसी भाग के लिए प्रत्येक तल-संघात किरण-दंड से आवश्यक कोण बना लेगा, क्योंकि प्रयुक्त वोल्टताओं पर परावर्तन कोण 1-2 अंश की कोटि के होते हैं।

1. Extended pattern 2. Cross-grating 3. Net planes 4. Distortion 5. Zone-axis 6. Common 7. On edge 8. Cubic structure

यद्यपि इस व्याख्या से कुछ मामलों में क्रास-ग्रेटिंग व्यवहार के दीखने का समाधा अवश्य हो जाता है, तथापि नीचे जो दूसरी व्याख्या दी जा रही है, उसका अधि सार्व आरोप है।

आकृति ११—एक घनक रचना का घन की एक कोर से अवलोकित दृश्य।

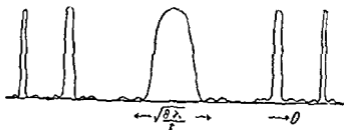
मान लीजिए कि एक कटिबंध-अक्ष किरण-दण्ड की दिशा में ही है, और मान लीजिए कि मणिभ पटल की मोटाई इतनी कम है कि अक्ष पर कुछ ही प्रकीर्णक बिन्दु हैं। हम विवर्तित दंड के प्रतिबंध को दो खण्डों से बना मान सकते हैं। पहला प्रतिबंध यह है कि कटिबंध-अक्ष से लम्ब दिशा में प्रत्येक तल में स्थित प्रकीर्णक बिन्दुओं की तरंगिकाएँ प्रबलन करें। यह प्रतिबंध अकेला एक क्रास ग्रेटिंग प्ररूप उत्पन्न करेगा। दूसरा प्रतिबंध यह है कि कटिबंध-अक्ष पर स्थित उत्तरोत्तर बिन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाएँ प्रबलन करें। इसके कारण द्विदिश प्ररूप में से वे धब्बे, जिनके लिए यह दूसरा प्रतिबंध पूरित होता है, तीव्र होंगे, और शेष मंद या लुप्त हो जायेंगे। जैसा आकृति १२ में

आकृति १२—समान अंतरणवाले परमाणुओं की एक पंक्ति के लिए विवर्तन प्रतिबंध दिखाते हुए।

दिखाया गया है, पड़ोसी बिन्दुओं से θ दिशा में प्रकीर्णित तरंगिकाओं के बीच पथान्तर समीकरण

$$\delta = a(1 - \text{कोज्या } \theta) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

से प्राप्त होगा। किसी दिशा θ में प्रकीर्णित तरंग का आयाम[1] व्यंजक

$$A = A_o \text{ ज्या } n\frac{\psi}{2} \Big/ \text{ ज्या } \frac{\psi}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

से प्राप्त होगा, जिसमें n प्रकीर्णक बिन्दुओं की संख्या है और ψ उत्तरोत्तर बिन्दुओं की तरंगिकाओं के बीच कलांतर[2] है।

आकृति १३—व्यंजक I (समीकरण ३ क) का स्वरूप बताते हुए।

(1) से हमें प्राप्त होता है—

$$\psi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} a \left(1 - \text{कोज्या } \theta\right) = \frac{2\pi a}{\lambda} \; 2 \text{ ज्या}^2 \frac{\theta}{2} = \frac{\pi a \theta^2}{\lambda}.$$

$$\text{इस प्रकार} \qquad A = A_o \text{ ज्या } \frac{\pi n a \theta^2}{2\lambda} \Big/ \text{ ज्या } \frac{\pi a \theta^2}{2\lambda} \; . \; \cdots\cdots \quad (3)$$

$$\text{और तीव्रता } I = \left(A_o \text{ ज्या } \frac{\pi n a \theta^2}{2\pi} \Big/ \text{ ज्या } \frac{\pi a \theta^2}{2\lambda}\right)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{३ क})$$

इस व्यंजक का वक्र आकृति १३ में दिखाया गया है। केन्द्रीय महत्तम की कोणीय चौड़ाई[3] $\sqrt{8\lambda/t}$ है $(t = na)$ और इस कोण के भीतर एक पंक्ति के विभिन्न बिन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाएँ सन्निकटतः एक ही कला में हैं। फलतः इस कोण के भीतर

1. Amplitude 2. Phase difference 3. Angular width

घटित सभी धब्बे तीव्र ही होंगे। इस केन्द्रीय महत्तम के चारों ओर वृत्ताकार धारियों की शृंखला होती है, जो सकरी होती जाती है, और जिनके लिए उत्तरोत्तर बिन्दुओं की तरंगिकाओं में कलांतर 2π, 4π, आदि होता है। इन चोटियों के बीच पडनेवाले क्रास-ग्रेटिंग प्ररूप के धब्बे क्षीण या लुप्त होंगे।

किकुची "N-प्ररूप" में पटल की मोटाई के आधार पर प्रत्याशित क्षेत्रफल से अधिक विस्तार तक धब्बे तीव्र पाये गये। यह बात थी जिसने ब्रैग को अपनी मणिभ विकृति[1] पर आधारित सिद्धान्त देने के लिए प्रेरित किया। ज्यों-ज्यों मणिभ मोटा लेते हैं, विकृति कम होती जाती है, और प्ररूप विषयक दूसरी व्याख्या लागू होती है। मणिभ मोटाई बढ़ने से व्यंजक (३ क) का केन्द्रीय महत्तम और बाहर के वलय तीक्ष्णतर होते जाते हैं, जिसके फलस्वरूप "L-प्ररूप" उत्पन्न होता है, जिसमें व्यंजक (३ क) के वलयाकार महत्तमो के ऊपर या उनके बहुत निकट पडनेवाले धब्बे ही प्रकट होते हैं।

यदि कोई महत्त्वपूर्ण कटिबंध कक्ष आपाती किरण दंड की दिशा में ही होने के बजाय उससे एक छोटा कोण बनाये, तब भी दूसरा विवर्तन प्रतिबंध ऐसा होता है कि सकेन्द्र वृत्ताकार धारियों की एक शृंखला पर स्थित धब्बे महत्तम तीव्रता के होते हैं। केन्द्रीय धब्बा इन धारियो का केन्द्र नहीं होता। वह भी एक वृत्ताकार धारी पर स्थित होता है, शून्य कोटि[2] की धारी पर।

एक छोटा मणिभ गुटका क्रास-ग्रेटिंग के रूप में—अब एक छोटे मणिभ गुटके पर विचार करें जो प्रत्येक दिशा में लगभग 20 परमाणु मोटाई का है। किरण-दंड से लम्ब दिशा की किसी पंक्ति के लिए, क्रमिक बिन्दुओं से θ दिशा में विकीर्णित तरंगिकाओं का पथांतर a ज्याθ होगा, जहाँ a बिन्दुओं के बीच की दूरी है। यह पथांतर दंड की दिशावाली किसी पंक्ति के उत्तरोत्तर बिन्दुओं से विकीर्णित तरंगिकाओं के पथांतर से बहुत अधिक होगा। इसलिए जब कि दंड के अभिलम्ब तल के परमाणु एक 20 बिन्दु वर्गवाली[3] क्रास ग्रेटिंग का काम करेंगे, और तीक्ष्ण धब्बे देंगे, दूसरे विवर्तन प्रतिबंध से 20 परमाणु की मोटाई (सामान्य वेग के इलेक्ट्रानों के लिए) कोई दृढ़ बंधन नही उत्पन्न कर सकेगी। अतः मणिभ का छोटा गुटका क्रास-ग्रेटिंग का व्यवहार करेगा। मणिभ को घुमाने से जब-जब कोई महत्त्वपूर्ण कटिबंध-अक्ष किरण-दंड के समांतर या निकटतः समांतर आता है, एक द्विदिश प्ररूप प्रकट हो जाता है। यदि कोई

1. Crystal distortion 2. Zero Order 3. 20 points square

इलेक्ट्रान दंड ऐसे पटल से पारगमित हो जिसमें छोटे-छोटे मणिभ यदृच्छा से[1] वितरित हैं, तो फलित प्ररूप वलयों की एक शृंखला का बना होगा। हम इन्हें महत्वपूर्ण कटिबंध अक्षों से संगत ऋास-ग्रेटिंग प्ररूपों के केन्द्रीय धब्बे के प्रति घूर्णन[2] से बना मान सकते हैं। यह कल्पना हो सकती है कि विभिन्न ऋास-ग्रेटिंगे आपाती पुंज से यदृच्छ कोण बनाती हैं, जिसके कारण फलित प्ररूप अस्फुटित[3] हो जायेगा। किन्तु ऐसा नहीं होता क्योंकि जब आपात और विवर्तन के कोण छोटे हों तो किसी समतल ग्रेटिंग से उत्पन्न विचलन[4] नियत होता है। यदि θ_1 और θ_2 अभिलम्ब से मापित आपात कोण और विवर्तन कोण हों, तो

$$b\ (\text{ज्या}\ \theta_1 - \text{ज्या}\ \theta_2) = n\lambda\ .$$

और θ_1 तथा θ_2 के छोटे होने की अवस्था में

$$b\ (\theta_1 - \theta_2) = n\lambda$$

जिसमें $\theta_1 - \theta_2$ विचलन है, और स्पष्टत. यह अचर $(= n\lambda/b)$ है।

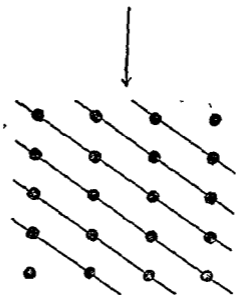
इस प्रकार, जैसे पटल जी० पी० टामसन ने काम में लिये थे, वैसे विभिन्न पटलों से प्राप्त वलयाकार प्ररूपों की हमें एक और विकल्प[5] व्याख्या प्राप्त हो जाती है।

मणिभ आकार—इस प्रकार प्राप्त वलयों पर दृष्टिपात मात्र से हम पटल में मणिभों के आकार विषयक अनुमान लगा सकते हैं। यदि ये मणिभ बहुत ही छोटे, केवल कुछ परमाणु-वर्ग ही हों तो वे अल्प विभेदकता[6] के ऋास ग्रेटिंग-जैसा व्यवहार करेंगे, जिसके फलस्वरूप वलय चौड़े होंगे और कभी-कभी प्रारोहित[7] भी हो जायेंगे। दूसरी ओर यदि मणिभ (इलेक्ट्रान-दंड की दृष्टि से) बड़े होंगे, तो दंड के पथ में कुछ ही मणिभ आयेंगे, और फलतः वलय धब्बों में बँट जायेंगे। सीमान्त अवस्था में यदि दंड के पथ में एक ही मणिभ पड़े तो वैसे फल आयेंगे जैसे किकुची के प्रयोगों में आते हैं।

दैशिलता[8] के प्रभाव—अब तक हमने बहुमणिभी पटलों के छोटे मणिभों को यदृच्छ जमावट का माना है, किन्तु व्यवहार में ये छोटे मणिभ अनेक बार किसी नियत प्रकार से दैशित[9] होते हैं। यह पटल बनाने की विधि पर निर्भर होता है। उदाहरणतः, किसी पत्नी को ठंडी अवस्था में पीटने से दैशितता उत्पन्न हो जाती है।

1. Randomly 2. Rotation 3. Blurred 4. Deviation 5. Alternative 6. Low resolution 7. Overlap 8. Orientation 9. Oriented

पर्याप्त सार्वता से मणिभ ऐसे संस्थित होते हैं कि उनका एक अक्ष पटल के पृष्ठ से अभिलम्ब रहे। इस दशा में वलय-प्ररूप ऐसा होगा जैसा इस अक्ष के अभिलम्ब या लगभग अभिलम्ब तलों से प्राप्त क्रास-ग्रेटिंग प्ररूपों के घूर्णन से प्राप्त हो। उदाहरणतः, मान लीजिए हम सरल घनक मणिभों से बने एक पटल पर विचार करें, जिसमें मणिभों का (१००) अक्ष पटल के तल से अभिलम्ब हो। तब (१००) तल के विभिन्न अंतरणों[1] से संगत वलय उत्पन्न होंगे, अर्थात् घन की कोर a, घन के फलक के कर्ण $a\sqrt{2}$, आदि अंतरणों से संगत वलय प्रकट होंगे। घन के पृष्ठ से, और फलतः पटल के पृष्ठ से बहुत कोण बनानेवाले तलों के अंतरणों से संगत वलय प्रकट नहीं होंगे। इस कारण से (111) तलों के अंतरणों के वलय प्रकट नहीं होंगे।

आकृति १४ से यह बात स्पष्ट हो जायेगी। इसमें घन बनावट को घन के फलक के कर्ण की दिशा से देखते बताया गया है। रेखाएँ (111) तलों को दर्शाती हैं, और

आकृति १४—घन के फलक के कर्ण की दिशा से दर्शित घन बनावट।

तीर आपाती इलेक्ट्रान दंड की दिशा दिखाता है। स्पष्ट है कि इन तलों पर केवल बहुत उच्च कोटियोंवाले परावर्तन ही हो सकते हैं, क्योंकि इनके और दंड के बीच का

1. Spacings

कोण लगभग 40° है। ये उच्च कोटियाँ अत्यन्त क्षीण होती हैं, और, जो भी हो, सामान्य कैमरे में ये फोटोग्राफी प्लेट पर ही नहीं गिरेंगी।

तो, इस प्रकार की दैशिकता का फल होता है कुछ ऐसे वलयों का लुप्त हो जाना, जिनकी केवल रचना गुणाक के विचार से हम आशा करते हैं। जब दैशिकता संपूर्ण नहीं होती है, तो प्रकट तो सभी वलय होंगे, किन्तु उनके बीच तीव्रता का वितरण बदल जायेगा। जब प्ररूप सुपरिचित नहीं होता तो वलयों के लोप होने या क्षीण होने के आधार पर दैशिक जमावट का पता लगाना कठिन होता है, और कोई अन्य परीक्षण आवश्यक होता है।

पटल को झुकाने का प्रभाव—यदि पटल में मणिभगण यदृच्छा से वितरित हों *तो पटल को आपाती दंड के प्रति झुकाने से प्ररूप पर कोई प्रभाव नहीं होना चाहिए।* यदि मणिभगण पटल के पृष्ठ से किन्हीं विशेष दिशाओं में संस्थित हों, तो पटल का झुकाव बदलने से प्रत्येक वलय के विभिन्न भागों में, और विभिन्न वलयों में आपस में तीव्रता का पुनर्वितरण होगा। सार्वतः, जो वलय पटल की दंड से अभिलंब स्थिति में पूर्ण तीव्रता से प्रकट होते हैं, वे घूर्णनाक्ष[1] के समांतरवाले व्यास के सिरों की ओर के चापों पर वही तीव्रता दिखायेंगे, किन्तु अन्यत्र क्षीण हो जायेंगे। जो वलय प्रकट नहीं होते, या पटल के दंड से अभिलम्ब होने की अवस्था की तुलना में क्षीण होते हैं, उनके स्थान पर, जब-जब नति[2] का कोण किसी समुचित मान पर आता है, तब-तब चाप प्रकट हो जाते हैं।

"अतिरिक्त" वलय[3]—अनेक प्रयोगकर्ताओं ने पारगमन द्वारा प्राप्त विवर्तन प्ररूपों में "अतिरिक्त" वलय पाये हैं। ये वलय, जो नमूने की सामान्य मणिभ रचना के ज्ञान से प्रत्याशित वलयों के अतिरिक्त प्रकट होते हैं, प्रायः सामान्य वलयों के भीतर स्थित होते हैं। इनके प्रकट होने के विषय में विभिन्न व्याख्याएँ दी गयी हैं, जिनमें अपद्रव्यों की कल्पना पर और अर्द्ध कोटि[4] के विवर्तन पर आधारित व्याख्याएँ भी हैं। फिंच और सी० एच० सुन ने, वैद्युत विधि से निक्षेपित[5] धातु पटलों से काम करते हुए, ऐसे प्ररूप प्राप्त किये हैं, जिनमें अनेक "अतिरिक्त" वलय, और साथ ही कुछ वृत्ताकार पट्टियाँ[6] जिनकी चौड़ाई 30 से० मी० लम्बाई के कैमरे पर लगभग 2·3 मि० मी० होती है। फिंच[47] ने सुझाव दिया है कि ये प्रभाव धातु में गैस के वेधन[7] के कारण होते हैं जिससे लैटिस विकृत हो जाती है। उसके अनुसार पट्टियाँ तो लैटिस के लगातार

1. Axis of rotation 2. Tilt 3. Extra rings 4. Half order 5. Deposited 6. Bands 7. Penetration

प्रसार से उत्पन्न होती है, और तीक्ष्ण वलय उन भागों से जिनकी एक समान विकृति हो जाती है। इस सिद्धान्त का आधार यह तथ्य है कि किसी समुचित गैस में पटल को तप्त करने से ये वलय प्रकट होते हैं, और निर्वात में दीर्घकालिक तापन से लुप्त हो जाते हैं। यदि यह तापन ऐसी गैस में हो जो लैटिस में पहले से उपस्थित गैस को निकालने की प्रवृत्ति रखती हो (यथा आक्सिजन को निकालने के लिए हाइड्रोजन) तो वलय अधिक शीघ्रता से लुप्त हो जाते हैं। फिच ने जिन पटलों का परीक्षण किया, उनके लिए वह इस सिद्धान्त के पक्ष में दिये गये प्रमाणों को पूर्ण मानता है, किन्तु यह मानता कि यह व्याख्या सभी मामलों पर लागू होगी ठीक नहीं होगा। इन "अतिरिक्त" वलयों का एक विकल्प[1] कारण अंतिम अध्याय में प्रस्तुत किया जायगा।

अवशोषण[2] वलय—फिच ने अभ्रक चूर्ण के प्ररूप में एक अवशोषण वलय पाया है। वह वलय फोटोग्राफी प्लेट पर श्वेत दीखता है। ऐसा प्रतीत होता है कि यह वलय किसी अवशोषण प्रभाव के कारण है, जैसा किकुची रेखाओं सम्बन्धी प्रभाव है।

परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक[3]—अब तक हमने इलेक्ट्रान और मणिभ रचना में स्थित परमाणुओं के विभिन्न भागों के बीच होनेवाली प्रक्रियाओं पर कोई विचार नहीं किया है; केवल बिन्दुओं के एक व्यूह[4] से उत्पन्न विवर्तन प्रभावों पर ही विचार किया है। ऐसा मान लिया गया है कि किसी समतल तरंग के आपात से इनमें से प्रत्येक बिन्दु एक द्वैतीयिक गोलाकार तरंगिका उत्पन्न करता है, जिसका आयाम[5] प्रकीर्णन कोण पर निर्भर नहीं होता। यह दृष्टिकोण सत्य की ओर एक सन्निकटन मात्र ही है। वास्तव में तो परमाणवीय आकार और आपाती दंड के इलेक्ट्रानों का तरंग-दैर्घ्य परिमाण में एक ही कोटि के हैं, इसलिए आशा करनी चाहिए कि परमाणु के विभिन्न भागों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं में परस्पर व्यतिकरण[6] होगा, और इसके फलस्वरूप पूर्ण परमाणु से विकीर्ण तरंगिका का आयाम समस्त दिशाओं में समान नहीं होगा।

किसी नियत दिशा में प्रकीर्णित तरंग के आयाम के लिए एक व्यंजक सर्वप्रथम बौर्न[ग] ने परिगणित किया था, और बाद में कुछ सरलीकृत रूप में मौट[घ] ने।

प्रथम अध्याय में दिये गये इस तरंग समीकरण पर विचार कीजिए—

$$\nabla^2\psi + 8\frac{\pi^2 m}{h^2}(E - V)\psi = 0 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4)$$

1. Alternative 2. Extinction 3. Atomic scattering factor 4. Array 5. Amplitude 6. Interference

इस समीकरण के जिस हल की हम खोज कर रहे हैं उसमें एक समतल आपाती तरग तथा परमाणु से निकलती एक प्रकीर्णित तरग का प्रतिदर्शन होना चाहिए। मान लीजिए हम आपाती किरण को x अक्ष पर चलता मानें, तो उसका स्वरूप होगा—

$e^{2\pi i\left(\nu t - \frac{x}{\lambda}\right)}$, और प्रकीर्णित किरण का स्वरूप होगा $r^{-1} f(\theta\phi)$ $e^{2\pi i\left(\nu t - \frac{r}{\lambda}\right)}$, जिसमें $f(\theta,\phi)$ ध्रुवीय कोण[1] θ,ϕ द्वारा नियत दिशा में तरंग का आयाम है।

यह पूर्णतः सार्व रूप से सिद्ध किया जा सकता है कि, यदि ξ कोई भी फलन[2] हो, तो समीकरण

$$\nabla^2\psi + k^2\psi = \xi\ (x, y, z)$$

का एक हल है $\psi = \frac{1}{4\pi}\iiint \frac{e^{-ik|r-r'|}}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}\,\xi(x'y'z')dx'dy'dz', \ldots (5)$

जिसमे $\mathbf{r}$ दिष्ट[3] xyz है, और $\mathbf{r}'$ दिष्ट $x'y'z'$ है। यह नियोग प्रत्येक आयतनांश[4] से फैलती हुई एक तरगिका को प्रदर्शित करता है, जिसका आयाम $\frac{1}{4\pi}\ \frac{\xi(xyz)dxdydz}{R}$ है।

समीकरण (4) को इस रूप में लिखा जा सकता है—

$$(\nabla^2 + k^2)\psi = \frac{8\pi^2 m}{h^2}\cdot V\cdot\psi$$

इससे फल निकलता है कि समीकरण का पूर्णत· सार्व हल है—

$$\psi = \psi_0 + \iiint \frac{2\pi m}{h^2} V\,(x'y'z')\frac{e^{-ik|r-r'|}}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}\psi(x'y'z')dx'dy'dz'.\ (6)$$

क्योंकि सार्व हल प्राप्त करने के लिए विशिष्ट हल[5] में $(\nabla^2+k^2)\psi = 0$ के पूर्णतः सार्व हल को जोडना होता है, जिसे हमने ψ_0 कहा है। यदि हम $\psi_0 = e^{-ikx}$ रखें,

1. Polar angle 2. Function 3. Vector 4. Element of volume
5. Particular solution

तो समीकरण (6) का दक्षिणांग एक आपाती तरंग तथा एक प्रकीर्णित तरंग प्रदर्शित करता है। व्यंजक (6) में प्रकीर्णित तरंग का आयाम वही है जो हमें यह मानने से प्राप्त होता कि प्रत्येक आयतनांश से आयाम

$$-\frac{2\pi m}{h^2} V(xyz)\psi(xyz)dxdydz/R \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

की तरंगिका प्रकीर्णित होती है।

यद्यपि सिद्धान्ततः समीकरण (6) का एक हल निकालना सम्भव है, तथापि व्यवहार में यह मानना आवश्यक पाया जाता है कि परमाणु के भीतर तरंग थोड़ी विकृत हो जाती है, और इसलिए समस्त प्रकीर्णित तरंगिकाएँ एक ही कला[1] में उदित होती हैं। यह मान्यता समीकरण (7) में ψ को ψ_0 के (अर्थात् e^{-ikx} के) बराबर मान लेने के तुल्य है।

मान लीजिए आपाती किरण का आयाम इकाई होने की अवस्था में प्रति एकाक आयतन से प्रकीर्णित तरंगिका के आयाम को हम $P(r)$ कहते हैं। मान लीजिए O प्रकीर्णक माध्यम का केन्द्र है, और एक ऐसे तल Ox पर विचार कीजिए जिससे आपाती और प्रकीर्णित किरणे समान कोण θ बनाती हैं। इससे y दूरी पर एक समान्तर तल पर विचार करें, तो इन दो तलो से प्रकीर्णित तरंगिकाओं में कलान्तर होगा μy, जिसमें $\mu = \frac{4\pi}{\lambda}$ ज्या θ इसलिए एक दीर्घ दूरी R पर प्रकीर्णित तरंगिकाओं का परिणमित आयाम $\frac{E(\theta)}{R}$ इस प्रकार होगा—

$$\frac{E(\theta)}{R} = \frac{1}{R}\iiint e^{i\mu y} P(r)\,dxdydz.$$

ध्रुवीय नियामकों[2] में यह होगा

$$\frac{1}{R}\int_0^{\infty}\int_0^{\pi} e^{i\mu r \text{ कोज्या } \theta}\, P(r) r^2 dr \text{ ज्या } \theta\, d\theta.$$

इसका θ के लिए अनुकलन[3] करने से प्राप्त होता है

1. Phase 2. Polar co-ordinates 3. Integration

$$\frac{1}{R}4\pi\int_0^\infty \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu r} P(r)\ r^2 dr.$$

उपर (7) से

$$P(r) = \frac{2\pi m}{h^2} V(xyz)$$

अतः R दूरी पर प्रकीर्णित तरग का आयाम हुआ

$$\frac{E(\theta)}{R} = \frac{8\pi^2 m}{Rh^2}\int_0^\infty \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu r} V(r) r^2 dr \quad \dots \quad \dots \quad (8)$$

क्योंकि हमने गोलीय सममिति[1] का विवरण मान लिया है, इसलिए हमें गौस के प्रमेय[2] से प्राप्त होता है

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2}\ \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial V}{\partial r}\right) = 4\pi P$$

(8) के एक खड अनुकलन[3] से

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m}{h^2}\int_0^\infty \left[\frac{r \text{ कोज्या } \mu r}{\mu^2} - \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu^3}\right]\frac{\partial V}{\partial r}.\ dr,$$

और एक और अनुकलन से

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left[\left\{\frac{r \text{ ज्या } \mu r}{\mu^3}\ \frac{\partial V}{\partial r}\right\}_0^\infty - \int_0^\infty \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu^3 r} 4\pi P(r) r^2 dr\right],$$

जो अन्ततः हो जाता है—

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m e^2}{h^2}\ (Z - F)/\mu^2 \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

क्योंकि मूल विन्दु पर $V \rightarrow \frac{2e^2}{r}$. राशि F, X-किरणों के लिए परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक है।

1. Spherical symmetry 2. Gauss' theorem 3. Partial integration

व्यंजक (9) को इस रूप में लिख सकते हैं —

$$E(\theta) = \frac{me^2}{2h^2}(Z-F)\frac{\lambda^2}{\text{ज्या}^2\theta} \cdot \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

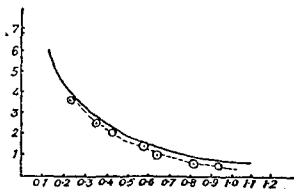
परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक का प्रायोगिक निर्धारण—परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक के लिए प्राप्त उपर्युक्त व्यजक[1] केवल स्वतंत्र परमाणु के लिए ही कठोरता से लागू होता है, वह भी इस मान्यता पर कि आपाती तरंग परमाणु द्वारा विकृत नहीं होती। यह सन्निकटन केवल द्रुत इलेक्ट्रानों के सम्बन्ध में ही उचित है, और यह पाया गया है कि यदि पर्याप्त वेगवान् इलेक्ट्रानों से प्रयोग करें तो मणिभों के परमाणुओं के लिए यह व्यंजक सन्निकटतः ठीक उतरता है। किन्तु ऐसी दशा में यह मान्यता कि मणिभ में स्थित परमाणु में गोलीय सममिति है, स्पष्टतः असत्य है। व्यंजक (10) को, जिसे "E" गुणांक कहा जाता है, जी. पी. टॉमसन[8] ने तथा मार्क और वीर्लेंच ने बहुमणिभी[2] धातु पटलों के पार द्रुत इलेक्ट्रानों के संचरण से प्राप्त प्ररूपों में तीव्रता[3] के मापन द्वारा निर्धारित किया है। यहाँ हम टॉमसन की विधि की एक संक्षिप्त रूपरेखा देंगे।

टॉमसन ने एक पतला स्वर्ण पटल लिया, और एक ज्ञात अनुपात के दो भिन्न प्रकाशकरण कालों[4] से विवर्तन फोटो लिये, जिनमें परिस्फुटन[5] बराबर दिया गया। इन दो प्ररूपों पर संगत त्रिज्यीय दिशाओं में दीप्तिमापन[6] किया गया और दो वक्र खींचे गये जिनमें केन्द्रीय धब्बे से दूरी के साथ प्रकाशीय घनत्व[7] का परिवर्तन व्यक्त किया जाता था। इनकी सहायता से लग (It)* और घनत्व का सम्बन्ध दर्शानेवाला एक वक्र प्राप्त किया गया, जहाँ I इलेक्ट्रान तीव्रता है और t प्रकाशकरण काल है। इससे फिर एक वक्र प्राप्त किया गया जिसमें It के साथ प्रकाशीय घनत्व का परिणमन[8] दिखाया गया था, और इस वक्र को बाद में प्लेट के किसी भी भाग पर मापित घनत्व से वहाँ टकरानेवाले इलेक्ट्रानों की तीव्रता परिगणित करने के लिए काम में लिया गया। यह मान लिया गया था कि प्लेट पर कालिख का घनत्व सदा I और t के गुणज It पर निर्भर रहता है। यह इलेक्ट्रानों के लिए सत्य है, ऐसा स्थापित किया जा चुका है।

1. Expression 2. Polycrystalline 3. Intensity 4. Exposure times 5. Development 6. Photometering 7. Optical density 8. Variation. *log (It)

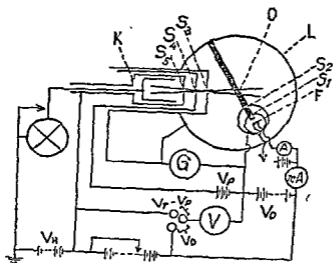
फलों से "E" वक्र प्राप्त करने के लिए दो बातों के लिए संशोधन करना आवश्यक होता था, जिनका उल्लेख अभी नहीं किया गया है। एक तो किसी विशेष वलय के बनने में भाग लेनेवाले तलों की आपेक्षिक संख्या को गणना में लेना पड़ता है। उदाहरणत. घन की कोर के $\sqrt{3}$ भाग के बराबर अंतरण[1] से संगत वलय को बनाने में इतने सूच्यांकों[2] वाले समान्तर तल-समूहों का परावर्तन भाग ले सकता है—

(111) (11–1) (1–11) (–111) (1–1–1) (–11–1) (–1–11) तथा (–1–1–1)।

फिर, बाहरी वलयों की परिधि अधिक होती है अतः केवल उसी कारण से बाहरी वलय कम तीव्र होंगे। इन दोनों कारणों को ध्यान में रखा गया था। आकृति १५ में सिद्धान्तित और प्रयोगात्मक वक्रों को साथ-साथ अंकित किया गया है। परमाणुओं के तापीय संचलन के लिए भी संशोधन लगाया गया था। पूर्ण रेखा स्वेच्छित मात्रकों[3] में $\frac{Z-F}{\text{ज्या}^2 0}\lambda^2$ को प्रदर्शित करती है, जबकि वृत्तों से प्रयोगात्मक बिन्दु व्यक्त हैं, जिनको वक्र पर एक स्थान पर फिट होने के लिए समुचित पैमाना दिया गया है।

आकृति १५—एक स्वर्ण परमाणु द्वारा प्रकीर्णित इलेक्ट्रानगण। प्रति घन कोण में प्रकीर्णित संख्या कोट्यंक[4] के वर्ग से प्रतिदर्शित होती है। पूर्ण रेखा : परिगणित वक्र; बिन्दुमय रेखा : मणिभ में उष्मीय संचलन[5] के लिए संशोधित वक्र; वृत्त : जी. पी. टामसन के लेख के प्रयोगात्मक पाठ्यांक।

1. Spacing 2. Indices 3. Arbitrary units 4. Ordinate 5. Thermal motion

मार्क और वील ने इनके समरूपी फल चाँदी और अलूमीनियम पटलों से प्राप्त किये हैं।

एक-परमाणवीय[1] गैसों में प्रकीर्णन—बहुत प्रारंभ में ही (1921) रामस्योर[घ] ने पाया कि जब एक इलेक्ट्रान दंड को आरगन गैस में भेजा जाता है, तो परमाणु का प्रभावकारी काट-क्षेत्रफल[2] इलेक्ट्रानों की वोल्टता के साथ एक विचित्र प्रकार से परिवर्तित होता है। ज्यों-ज्यों वोल्टता कम करते जाते हैं, इस काट-क्षेत्रफल का मान गतिज सिद्धान्त[3] से परिगणित मान से कई गुना अधिक होता जाता है, और अंततः गिरकर गतिज सिद्धान्ती मान से काफी नीचे आ जाता है। बाद में यही प्रभाव अन्य गैसों के लिए भी पाया गया। किन्तु प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के विक्षेप कोण[4] पर प्रेक्षण 1928 तक नही किये गये। उस वर्ष डाइमंड और वाटसन[ज] ने इस प्रकार के प्रयोग किये, और अनेक अन्य कार्यकर्त्ताओं ने उनका अनुसरण किया। सब प्रारंभिक कार्य छोटे प्रकीर्णन कोणों तक ही सीमित रहे, किन्तु 1930 में बुलर्ड और मैसे[झ] ने, तथा आर्नोट[ञ] ने स्वतंत्र रूप से, प्रयोग किये जिनमें 125° तक के प्रकीर्णन कोण मापे गये। आकृति १६ में आर्नोट द्वारा पारद वाष्प पर किये गये प्रयोगों में प्रयुक्त उपकरण का स्वरूप प्रतिदर्शित किया गया है। F एक तप्त तंतु था, और उससे प्राप्त इलेक्ट्रान दीर्घ-छिद्र[5] S_1 और S_2 के पार त्वरित[6] होकर एक सकड़ा दंड बनाते थे। वे प्रकोष्ठ O में प्रकीर्णित होते थे, जिसमें गैस का दाब इतना कम रखा जाता था कि एकाधिक[7]

आकृति १६—इलेक्ट्रान प्रकीर्णन के लिए आर्नोट का उपकरण।

1. Monatomic 2. Cross-section 3. Kinetic theory 4. Angle of deflection 5. Slits 6. Accelerated 7. Multiple

प्रकीर्णन न हो। दंड की एक छोटी लम्बाई में से एक नियत कोण पर प्रकीर्णित इलेक्ट्रान दीर्घछिद्र S_3 और S_4 से गुजर कर एक फैराडे प्रकोष्ठ में एकत्र होते थे, जो एक विद्युन्मापी[1] से सम्बद्ध रहता था। S_3, S_4 और S_5 में अवमदक[2] विभव लगा रहता था, ताकि 3 वोल्ट से अधिक ऊर्जा खोने वाले इलेक्ट्रान प्रवेश न कर सके। 3 वोल्ट पारद के अनुनाद[3] विभव से कुछ कम है, और उपर्युक्त व्यवस्था से फल यह होता था कि केवल प्रत्यास्थत:[4] प्रकीर्णित इलेक्ट्रान ही एकत्र होते थे।

आकृति १७—पारद वाष्प मे प्रत्यास्थत:[4] प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का कोणीय वितरण। ८२, ११९, २०७, ३७९, ४८०, ६७० और ८०० वोल्ट के इलेक्ट्रानों के वक्र दिखाये गये हैं।

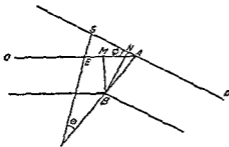
प्रकीर्णन कोण के साथ प्रति घन कोण में प्रकीर्णित इलेक्ट्रानो को दर्शाते हुए वक्र खीचे गये। वे आकृति १७ मे दिखाये गये स्वरूप के पाये गये।

इन वक्रो के विषय में रोचक बात यह है कि छोटी वोल्टताओं के लिए कुछ कोणो पर महत्तम आते है। आर्नोट और अन्य जनो ने अनेक गैसो पर ये प्रयोग किये है, और एक परमाणवीय गैसो से पारद वाष्प के समरूपी फल पाये है। उच्चतर वोल्टताओं पर कोण बढने के साथ प्रकीर्णन में लगातार कमी होती जाती है, और फल बोर्न के सिद्धान्त से ठीक मेल खाते हैं।

1. Electrometer 2. Retarding 3. Resonance 4. Elastically

यह कहा जा चुका है कि बोर्न का सिद्धान्त, अपने मौलिक तथा मौट द्वारा शोधित दोनों स्वरूपों में, दो मान्यताओं पर आधारित है। यह मान लिया जाता है कि परमाणु एक स्थिर वितरणवाले चार्ज की भाँति व्यवहार करता है, और यह भी कि आनेवाली तरंग परमाणु के बल-क्षेत्र द्वारा विकृत नहीं होती। यद्यपि ये सन्निकटन[1] द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए संतोषजनक हैं, अल्प वोल्टता के इलेक्ट्रानों के लिए ये न्याय-संगत नहीं हैं। यही कारण है कि बोर्न का सिद्धान्त अल्प वोल्टता के वक्रों में पाये गये महत्तमों की व्याख्या नहीं कर सकता। फैक्सेन और होल्त्समार्क ने परमाणवीय बलक्षेत्र से सगत वर्तनांक को गणना में लिया है, और गोलीय सममिति[2] के विभव-क्षेत्रों के लिए प्रकीर्णन की गणना की है। इस सिद्धान्त द्वारा उद्घोषित फल बुलर्ड और मैसे द्वारा आर्गन में ६, १२ और ३० वोल्ट के इलेक्ट्रानों के लिए, तथा आर्नोट द्वारा क्रिप्टोन में ५४ वोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए प्राप्त फलों से अच्छा मेल खाते हैं।

स्वतंत्र अणुओं द्वारा इलेक्ट्रानों का विवर्तन—इलेक्ट्रान विवर्तन का एक बहुत महत्त्वपूर्ण अनुप्रयोग[3] है गैसीय या वाष्प अवस्था में पदार्थों के परीक्षण में। X-किरण व्यतिकरण[4] प्ररूपों से किसी अणु में परमाणुओं के बीच की दूरी निगमित[5] करने की विधि का सैद्धान्तिक विकास सर्वप्रथम डिबाई ने किया था, और उस सिद्धान्त को हम इलेक्ट्रानों के लिए अनुकूलित कर सकते हैं।

एक द्विपरमाणवीय अणु पर गिरती समतल तरंग पर विचार कीजिए। आकृति १८ में मान लीजिए A और B दो परमाणुओं का निरूपण करते हैं, और मान लीजिए उनके बीच की दूरी d है। यदि आपाती और प्रकीर्णित किरणों की दिशाएँ क्रमानुसार OA और AP हैं, और इन दिशाओं पर AB के प्रक्षेप[6] क्रमानुसार AM और AN हैं, तो A और B से AP दिशा में प्रकीर्णित किरणों के बीच पथान्तर AM–AN होगा। अब OA तथा वर्धित PA पर बिन्दु E और S ऐसे अंकित कीजिए कि AE=AS = AB = d, तो

आकृति १८—एक द्विपरमाणवीय अणु द्वारा समतल तरंग का प्रकीर्णन।

1. Approximations 2. Spherical symmetry 3. Application 4. Interference 5. Deduce 6. Projections

पथान्तर $AM-AN$ = AB का OA पर प्रक्षेप AB का AP पर प्रक्षेप
= AE का AB पर प्रक्षेप AS का AB पर प्रक्षेप
= ES का AB पर प्रक्षेप = $2d$ कोज्या θ ज्या $\frac{\phi}{2}$ ...(11)

जिसमें ϕ प्रकीर्णन का कोण है।

अब एक बहुपरमाणवीय अणु पर विचार कीजिए, जिसके परमाणु समान होना आवश्यक नहीं है। ϕ दिशा में प्रकीर्णित तरंग का आयाम[1] ज्ञात करना है। मान लीजिए विभिन्न परमाणुओं द्वारा ϕ दिशा में प्रकीर्णित तरंगिकाओं के आयाम E_1, E_2 आदि हैं, और इनके बीच कलांतर[2] r_{12}, r_{23} आदि हैं। एक बहुभुज खींचिए जिसकी भुजाएँ E_1, E_2 आदि हों, और बाह्य कोण r_{12}, r_{23} आदि हों। इस बहुभुज को बन्द करनेवाली भुजा फलित तरंग का आयाम निरूपित करेगी। अतः किसी एक अणु के लिए फलित तीव्रता I होगी

$$I = K \sum_{1}^{n} i \sum_{1}^{n} j \; E_i \, E_j \text{ कोज्या } r_{ij} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

क्योंकि अणु आपाती दंड के प्रति यदृच्छा से[3] वितरित होंगे, इसलिए कोज्या r का मध्यमान ज्ञात करने के लिए θ के 0 से π तक मान लेने होंगे।

समीकरण (11) से $r = \frac{4\pi}{\lambda} d$ कोज्या θ ज्या $\frac{\phi}{2}$

हमें $\int$ कोज्या$r.\, dr \Big/ \int dr$ का मान ऐसी सीमाओं के बीच निकालना है कि θ का मान 0 से π तक आये। यह होगा—

$$\int_0^{\pi} \text{कोज्या} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \text{ कोज्या } \theta \text{ ज्या } \frac{\phi}{2}\right) \text{ ज्या}\theta \, d\theta \Big/ \int_0^{\pi} \text{ज्या}\theta . \, d\theta$$

$$= \frac{\text{ज्या} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \text{ कोज्या}^2 \frac{\phi}{2}\right)}{\frac{4\pi d}{\lambda} \text{ कोज्या}^2 \frac{\phi}{2}}$$

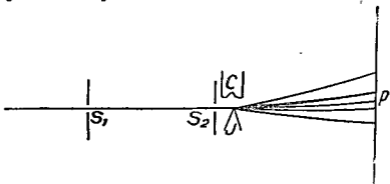
इस प्रकार अणुओं के एक छोटे बादल से ϕ कोण पर प्रकीर्णन की तीव्रता होगी

1. Amplitude 2. Phase difference 3. At random

$$I(\phi) = \sum_{1}^{n} i \sum_{1}^{n} j \; E_i \; E_j \; \frac{\text{ज्या}x}{x},$$

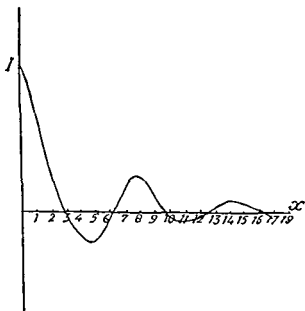
जिसमें $x = \frac{4\pi d}{\lambda}$ कोज्या$^2 \frac{\phi}{2}$.

इस सिद्धान्त के व्यावहारिक अनुप्रयोग[1] के लिए कुछ जटिल गणनाएँ करनी होती हैं, यद्यपि यह कार्य उससे अधिक नही हैं जो मणिभ अवस्था में अणुओं में परमाणुओं की स्थिति ब्रैग की x–किरण विधि से निर्धारित करने में करना होता है। कुछ परमाणवीय अतरणो[2] की मान्यता कर ली जाती है, और फिर इन्हें समजित[3] किया जाता है जब तक कि सिद्धान्तित वक्र प्रयोगात्मक वक्रों से फिट न बैठे।

प्रयोगात्मक विधियाँ—विश्लेपण की इस अत्यन्त प्रबल विधि का उपयोग करने में मार्क और वीर्ल[द] सर्वप्रथम थे। उनका उपकरण (आकृति १९) एकदम सादा था, जिसमें मूलत· एक विसर्ग[4] नली होती थी, जिससे इलेक्ट्रानों का एक बारीक दंड एक लम्बी मकडी नली S_1S_2 के पार निकलता था। नली के दूरवाले सिरे के सामने एक चंचु[5] J होती थी, जिससे प्रयोगाधीन वाष्प को दंड के पथ में प्रवाहित होने दिया जाता था। प्ररूप को एक फोटोग्राफी प्लेट P पर अंकित किया जाता था, या दंड से अभिलम्ब और चचु से लगभग २० सें. मी दूर रखे एक प्रतिदीप्त[6] पर्दे पर देखा जाता था। अत्युच्च निर्वात के कैमरे में वाष्प सब ओर न फैल जाय, इसलिए वाष्प धारा को एक द्रववायु द्वारा शीतित पृष्ठ C पर गिराया जाता था।

आकृति १९—वीर्ल के उपकरण का रेखाचित्रीय निरूपण।

1 Application 2. Spacing 3. Adjust 4. Discharge 5. Jet
6. Fluorescent

मान्यतः द्रवों का वाष्प-दाब काफी होता है, और केमरा में उच्च निर्वात के कारण ष्प की तीव्र धारा उत्पन्न हो जाती है, किन्तु ठोसो को एक छोटी भट्टी में तप्त किया ता था। एक घडीदार योजित्र[1] से चालित चुम्बकीय युक्ति द्वारा फोटो लेने की क्या और चंचु से वाष्प का छोडना साथ-साथ किया जाता था। इलेक्ट्रानों का कीर्णन बहुत होने के कारण प्रकाशकरण[2] काल केवल बहुत अल्प (आधे सैकड की कोटि का) होता था। इसके कारण यह विधि, संगत x-किरण विधि की अपेक्षा, बहुत अधिक सुविधाप्रद और तेज हो जाती है।

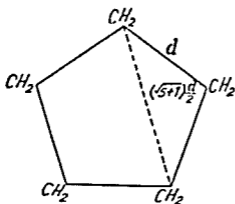
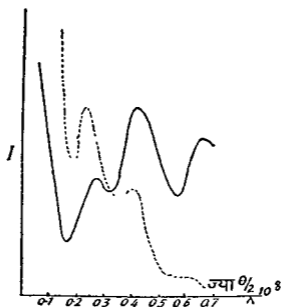
इस प्रकार अनुसंधानित प्रथम पदार्थ कार्बन चतुष्क्लोराइड था, जिसमें कुछ दशाओ में सात तक महत्तम प्राप्त होते थे। फलों की व्याख्या करने के लिए अणु को चतुःशीर्ष[3] माना गया, और केन्द्रवाले हलके कार्बन परमाणु से उत्पन्न प्रकीर्णन की उपेक्षा कर दी गयी। तब केवल क्लोरीन परमाणुओं के बीच के अंतरण ही, जिन्हें बराबर मान लिया गया था, विचारणीय रह गये। यदि E पद[4] की उपेक्षा कर दें, तो प्रत्प में

आकृति २०— फलन $I = \frac{\text{ज्या } x}{x}$ के स्वरूप का निरूपण।

तीव्रता वितरण ज्याx/x के रूप का होना चाहिए। इस फलन[5] को आकृति २० में आलेखित दिखाया गया है, और यह देखा जा सकता है कि महत्तम 7·73 और 14 पर आते हैं। इस प्रकार $7{\cdot}73 = \frac{4\pi d}{\lambda} \cdot \frac{\text{ज्या } \phi}{2}$; अत. तरंग-दैर्घ्य λ

1. Clockwork relay 2. Exposure 3. Tetrahedral 4. Term 5. Function

तथा प्रथम महत्तम के कोण ϕ से d का मान निर्गमित किया जा सकता है।

आकृति २१—साइक्लोपैंन्टेन।

सामान्यतः तीव्रता वक्र इतना सरल नहीं होता। आकृति २२ में साइक्लोपैंन्टेन द्वारा प्रकीर्णन के लिए सिद्धान्तित तीव्रता वितरण दिखाया गया है। आणव स्वरूप[1] समतल पंचभुज[2] मान लिया गया है, जिससे सूत्र यह निकलता है—

$$I(\phi) = 5KE_e^2 \left(1 + \frac{2\text{ज्या}\, x}{x} + 2\,\frac{\text{ज्या}\,(\sqrt{5}+1)\frac{x}{2}}{(\sqrt{5}+1)\frac{x}{2}}\right).$$

आकृति २२—साइक्लोपैंन्टेन में प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का सिद्धान्तित तीव्रता वितरण दिखाते हुए वक्र।

1. Molecular model 2. Plane pentagon

यदि E को अचर मान लिया जाय, तो विभिन्न खण्डों के अध्यारोप[1] से फलित तीव्रता वितरण आकृति २२ की पूर्ण रेखा से निरूपित होता है। बिन्दुमय रेखा से तीव्रता वक्र का वह रूप निरूपित होता है जिसमे परमाणवीय प्रकीर्णन गुणाक[2] E के परिवर्तन को गणना मे ले लिया गया है। E को अचर मानने से महत्तमो की स्थिति में तो थोडा ही अन्तर आता है, किन्तु सार्व रूप से, विभिन्न वलयों की आपेक्षिक तीव्रताओं के लिए पूर्णतः गलत मान आते हैं।

इस विधि के अन्य सप्रयोजन हुए हैं; परमाणवीय आकारो[3] के निर्धारण मे, ऐसी समस्याओं मे जैसे किसी एलिफैटिक या एरोमैटिक बधन[4] के लिए अतरणो की भिन्नता, और अणुओं के अन्तर्गत परमाणुओं की स्वतन्त्र चल्यता[5] ज्ञात करना।

सदर्भ

क—W. L. Bragg, *Nature*, **124**, 125, 1929.

ख—G. I. Finch, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.

ग—M. Born, *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen, Math.-physik. Klasse*, **146**, 1926; *Z. Phys.*, 38, 803, 1926.

घ—N. F. Mott, *Proc. Roy. Soc.*, **127A**, 685, 1930.

ङ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, **125**, 352, 1929.

च—H. Mark and R. Wierl, *Z. Phys.*, **60**, 741, 1930.

छ—Ramsauer, *Ann. de Phys.*, **64**, 513, 1921; **66**, 546, 1921.

ज—E. G. Dymond and E. E. Watson, *Proc. Roy. Soc.*, **122**, 571, 1929.

झ—E. C. Bullard and H. S. W. Massey, *Proc. Roy. Soc.*, **130**, 579, 1931, **133**, 637, 1931.

ञ—F. L. Arnot, *Proc. Roy. Soc.*, **129**, 361, 1930; **130**, 655, 1931; **133**, 615, 1931.

ट—H. Faxen and J. Holtsmark, *Z. Phys.*, **45**, 307, 1927.

ठ—P. Debye, *Ann. de Phys.*, **46**, 809, 1915.

ड—R. Wierl, *Ann. de Phys.*, **8**, 453, 1932; **8**, 521, 1931.

1. Superposition 2. Atomic scattering factor 3 Atomic sizes 4. Bond 5. Mobility

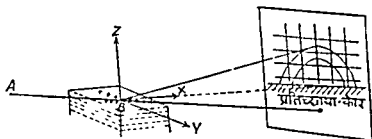
अध्याय ४

परावर्तन द्वारा विवर्तन

किसी एकाकी मणिभ के विदलन फलक[1] से परावर्तन द्वारा विवर्तन—जैसा अध्याय २ में कहा जा चुका है, किसी इलेक्ट्रान दंड को एक मणिभ के फलक पर अल्प कटाक्षी कोण[2] पर गिराने से प्ररूप प्राप्त किये जा सकते हैं। x-किरणोंवाली क्रिया की समता से इसे सामान्यत. परावर्तन प्ररूप कह दिया जाता है, किन्तु यह कठोरत. ठीक नहीं है। x- किरणो से किसी एक संस्थिति में एक ही धब्बा प्रकट होता है, और वह भी तब जब मणिभ दंड से एकदम ठीक कोण पर ही रखा हो। इलेक्ट्रान के बारे में ऐसा नहीं है, और इसीलिए इस समता पर बहुत जोर देना हानिप्रद है। कुछ तो इस समता पर लगातार जोर दिये जाने के ही कारण एकाकी मणिभ द्वारा इलेक्ट्रानों के विवर्तन की क्रिया भली-भाँति समझी नही जा सकी है। क्योंकि परमाणु x- किरणों की अपेक्षा इलेक्ट्रानों को प्रकीर्णित[3] करने में बहुत अधिक प्रभावकारी होते हैं, इसलिए इलेक्ट्रान प्रकीर्णन में कम मणिभ-तल क्रियाशील होते हैं, और फलत. ब्रैग प्रतिबंध (समीकरण ४, अध्याय १) काफी ढीलित[4] हो जाता है। इसके कारण एक ही समय में अनेक विवर्तित धब्बे प्राय. प्रकट होते है, और एक धब्बा तो मणिभ की लगभग सभी संस्थितियों में (किकुची रेखाओं के अतिरिक्त, जो सभी अच्छे नमूनों के साथ सदा उपस्थित होती हैं) प्रकट होता है।

विवर्तन प्रतिबंधों पर विचार करने की किर्चनर की विधि—मणिभ के विभिन्न परमाणुओं से उत्पन्न तरंगिकाओ के प्रबलन[5] के प्रतिबन्धो में जो ढीलन इलेक्ट्रानों के लिए होती है, उसके विभिन्न प्रभावों के अध्ययन को सरल करने के लिए किर्चनर ने इन प्रतिबन्धो को एक बहुत सुविधाप्रद रूप में रखा है। आकृति २३ में AB इलेक्ट्रान दंड को निरूपित करती है, जो किसी मणिभ के एक विदलन-फलक पर एक

1. Cleavage face 2. Glancing angle 3. Scatter 4. relaxed 5. Reinforcement

अल्प कोण पर गिरता है। मणिभ के परमाणुओं को इस फलक के समान्तर तलों में

आकृति २३—प्रबल विवर्तित किरण के लिए आवश्यक प्रतिबन्धों को दिखाते हुए।

व्यवस्थित मान सकते हैं। परमाणुओं की किसी पंक्ति से प्राप्त तरंगिकाएँ[1] एक कला[2] में हों, इसका प्रतिबंध यह है कि प्रकीर्णित किरण उस परमाणु-पंक्ति को अक्ष मानकर बने अनेक शंकुओं[3] में से किसी एक पर अवस्थित हों। अब, प्रत्येक तल के परमाणुओं को समान्तर रेखाओं के दो संघातों[4] के प्रतिच्छेद[5] बिन्दुओं पर घटित मान सकते हैं, और मणिभ की प्रत्येक स्थिति में यह सदा संभव होगा कि हम रेखाओं के दो ऐसे संघातों को चुन लें, जिनमें से एक सन्निकटतः दंड की ही दिशा में हो, और दूसरा उससे लम्ब दिशा में। परमाणुओं की पंक्तियों के इन दो संघातों में से प्रत्येक से संगत विवर्तन प्रतिबन्ध यह होगा कि प्रकीर्णित दंड एक शंकु-शृंखला पर स्थित हो। आपाती दंड के समांतरवाली पंक्ति के लिए ये शंकु-वर्ग प्लेट को अनेक संकेन्द्र[6] वलयों में प्रतिच्छेदित करेंगे, और आपाती दंड के लम्ब दिशा की पंक्तियों के लिए ये शंकु-वर्ग प्लेट को मणिभ फलक से लम्ब दिशा में समान्तर सीधी रेखाओं में प्रतिच्छेदित करेंगे। (अधिक कठोरता से, ये बादवाली रेखाएँ अतिपरवलय[7] होंगी, किन्तु प्लेट के सीमित फैलाव में इन्हें सीधी रेखाएँ ही मान सकते हैं।) एक तीसरा विवर्तन प्रतिबंध उत्तरोत्तर तलों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं के व्यतिकरण[8] से उत्पन्न होता है। इसके कारण मणिभ कोर[9] की प्रतिच्छाया के समांतर रेखाओं का एक संघात आता है। जहाँ ये तीनों प्रतिबंध पूरित होते हों, वहीं एक प्रबल विवर्तित दंड घटित होगा।

इस स्थान पर यह रोचक होगा कि हम इन तीनों प्रतिबंधों में से एक-एक में ढीलन होने के प्रभावों पर अलग-अलग विचार करें। हमने आकृति २३ में अक्षों को

1. Wavelets 2. Phase 3. Cones 4. Sets 5. Intersection 6. Concentric 7. Hyperbola 8. Interference 9. Edge

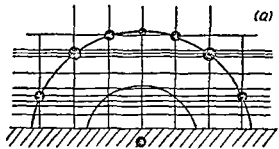
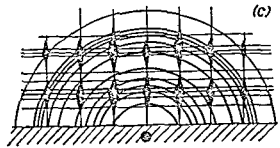
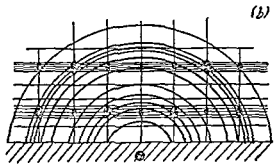
x,y,z अंकित कर दिया है । x– अक्ष आपाती दंड से सन्निकटतः समांतर पंक्ति की दिशा में है, y– अक्ष इससे लम्ब दिशावाली पंक्ति के समांतर, और z– अक्ष मणिभ फलक से अभिलम्ब है ।

(क) अधिकतम सार्वता से ढीलित[1] होनेवाला प्रतिबन्ध z- प्रतिबंध है, और सदा यह माना जाता है कि मणिभ में इलेक्ट्रान दंड की वेधन[2] क्षमता न्यून होने से ऐसा होता है । फलतः क्षैतिज-रेखाओं (y के समांतर) वाला प्रतिबंध केवल चौड़ी-चौड़ी पट्टियों में परिणत हो जाता है, जिनका फैलाव वेधन की मात्रा घटने के साथ बढ़ता जाता है । इस प्रकार वलयों और ऊर्ध्वाधर रेखाओं के अनेक प्रतिच्छेद-बिन्दु इन चौड़ी पट्टियों पर पड़ेंगे, और इन सब स्थानों पर धब्बे प्राप्त होंगे । मणिभ की जिस संस्थिति[3] के लिए ये धब्बे पट्टी के मध्य में पड़ेंगे उस संस्थिति में ये तीक्ष्ण होंगे, किन्तु ज्यों-ज्यों आपात कोण बदला जाता है, ये धब्बे आपात कोण की काफी बड़े परास[4] तक बने रहेंगे । इसका समाधान इस तथ्य पर होता है कि जब कि ऋजु रेखाओं द्वारा निरूपित महत्तमों के दो संघात घूर्णन[5] के अल्प कोणों के लिए अचर रहते हैं, वलयाकार महत्तम ऐसे खिसकते हैं मानो वे मणिभ से दृढ़ता से बद्ध हों* । z-प्रतिबन्ध के ढीलन से फलित प्ररूप का रूप आकृति २४ (a) में दिखाया गया है । अनेक मणिभो में यह गहराईवाला प्रतिबंध इतना ढीलित हो जाता है कि केन्द्रीय रेखा पर दो धब्बे प्रकट हो जाते हैं, जैसा इस आकृति मे दिखाया गया है, और कुछ विशेष संस्थितियों में धब्बों के दो या अधिक वृत्त प्राप्त हो सकते हैं, जिनमे धब्बों की स्थितियाँ वलयाकार महत्तमों और ऊर्ध्वाधर रेखीय महत्तमो के प्रतिच्छेद-बिन्दुओं पर होंगी । ऐसे प्ररूप को प्रायः पृष्ठीय प्ररूप[6] कहा जाता है ।

(ख) अब उस दशा का विचार करें जब x- प्रतिबन्ध में ढीलन होती है । ऐसा तब होगा जब आपाती दंड की दिशा में मणिभ का विस्तार बहुत कम हो, लगभग ५० परमाणुओं की कोटि का । जैसा अध्याय २ में पतले मणिभों के पार संचरण[7] के सम्बन्ध में कह चुके हैं, दंड की दिशावाली किसी परमाणु-पंक्ति की विभेदकता[8] दंड से अभिलम्ब पंक्ति की तुलना में बहुत कम होती है । फलतः एक छोटे वर्गाकार

* यह ध्यान रखना चाहिए कि यद्यपि इन वलयों और रेखाओं की ऐसी बात करते हैं मानो वे वास्तविक हों तथापि यथार्थ में वे केवल सिद्धान्तित कल्पनाएँ ही हैं ।

1. Relax 2. Penetration 3. Setting 4. Range 5. Rotation 6. Surface pattern 7. Transmission 8. Resolving power

मणिभ पृष्ठ से ऐसा प्ररूप प्राप्त हो सकता है जिसमें x-प्रतिबन्ध तो काफी ढीलित हो, किन्तु y-प्रतिबन्ध फिर भी कठोर हो। इसलिए अनादर्श[1] मणिभ में, जिसका पृष्ठ अनेक खण्डों[2] में बँट गया हो, किन्तु खण्डों की एकदैशितता[3] न बिगड़ी हो, ऐसे प्ररूपों की आशा की जायगी जिनका वर्णन अभी दिया जानेवाला है। व्यवहार में ऐसे प्ररूप प्रायः पाये जाते हैं।

यदि z- प्रतिबन्ध काफी दृढ हो, तो जहाँ-जहाँ उर्ध्वाधर रेखाएँ क्षैतिज रेखाओं को प्रतिच्छेदित करती हैं, वहाँ एक धब्बा घटित होगा, जिसकी तीव्रता उस बिन्दु पर x- प्रतिबन्ध की परिकल्पित[4] तीव्रता से नियन्त्रित होगी। लगभग सदैव z प्रतिबन्ध कुछ ढीला ही होता है, और इसलिए ये धब्बे मणिभ पृष्ठ और प्लेट की प्रतिच्छेद-रेखा* से लम्ब दिशा में खिचकर छोटी रेखाओं में परिणत हो जाते हैं। आकृति २४ (b) में प्ररूप का रूप प्रदर्शित है।

आकृति २४—विभिन्न विवर्तन प्रतिबन्धों के ढीलन से फलित प्ररूपों के स्वरूप।

*इस रेखा को सामान्यतः प्रतिच्छाया-कोर (Shadow edge) कहा जाता है, क्योंकि अविक्षेपित धब्बे की स्थिति और इसके बीच प्लेट पर लगभग कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

1. Imperfect 2. Blocks 3. Alignment 4 Hypothetical

(ग) एक तीसरे प्रकार का प्ररूप प्राप्त होता है x और z दोनों प्रतिबंधों के ढीलन से। इस अवस्था में वलय और क्षैतिज रेखाएँ चौड़ी पट्टियाँ बन जाती हैं, और फलतः धब्बे खिंचकर प्रतिच्छाया-कोर से लम्ब दिशा में रेखाएँ बन जाते हैं, जिनमें मुख्य तीव्रता वहाँ होती है जहाँ वृत्ताकार पट्टियाँ क्षैतिज रेखाओं को काटती हैं। प्ररूप का रूप आकृति २४ (c) में प्रदर्शित है, और उस प्ररूप से बहुत समरूपी होता है जो २४ (a) के प्रकार का प्ररूप देनेवाले मणिभ को दंड के अभिलम्ब और मणिभ पृष्ठ में स्थित अक्ष के प्रति घूर्णन से प्राप्त होता है।

यह याद रखना चाहिए कि आपाती और परावर्तन कोण बढ़ने पर प्रतिबन्ध दृढ़तर होते जाते हैं।

इस प्रकार के विचारों से हम समझ पाते हैं कि मणिभ को समुचित ब्रैग कोण[1] पर संस्थित[2] किये बिना भी धब्बे क्यों प्रकट होते हैं। किन्तु मणिभ के आन्तरिक विभव[3] के प्रभाव को ध्यान में रखना आवश्यक है। मंद इलेक्ट्रानों के विवर्तन के सम्बन्ध में इसका उल्लेख हो ही चुका है, और इसके कारण एक वर्तनांक कैसे उत्पन्न होता है इस पर अब विचार किया जायगा।

आंतरिक विभव का प्रभाव—बेथे[ख] ने सर्वप्रथम सुझाव दिया कि महत्तमों की प्रेक्षित और सिद्धान्तित स्थितियों में विषमता एक वर्तनांक के प्रभाव के कारण हो सकती है, जो मणिभ के भीतर एक मध्यमान आन्तरिक विभव से उत्पन्न होता है। वैसे तो यह दीखता है कि क्योंकि सम्पूर्ण मणिभ बराबर धनात्मक और ऋणात्मक चार्जों का बना है, इसलिए उसका विभव स्वतन्त्र आकाश[4] के विभव से भिन्न नहीं हो सकता। यदि चार्ज आकाश में सर्वत्र एकसमानतः फैले होते तो वास्तव में ऐसा ही होता, किन्तु परमाणवीय जमावट[5] के कारण मणिभ के भीतर के आकाश का मध्यमान विभव बाहरी शून्याकाश के विभव से उच्चतर होता है। सोमरफैल्ड ने इस आन्तरिक विभव और उष्मायनी[6] कार्य फलन[7] के बीच सम्बन्ध व्यक्त करनेवाला एक व्यंजक[8] निकाला है।

यह बिलकुल सरलता से दिखाया जा सकता है कि आंतरिक विभव का प्रभाव एक वर्तनांक के रूप में प्रकट होता है। स्वतंत्र आकाश में इलेक्ट्रान तरंगों का तरंग-दैर्घ्य होता है—

1. Bragg angle 2. Set 3. Inner Potential 4. Free Space 5. Arrangement 6. Thermionic 7. Work function 8. Expression

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \text{ जिसमें } \tfrac{1}{2}mv^2 = eP.$$

अतः $$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meP}}$$

अब यदि इलेक्ट्रान एक घनात्मक विभव $V_\circ$ के क्षेत्र में प्रवेश करें, तो उनमें एक स्थितिज ऊर्जा[1] $-eV_\circ$ आ जाती है, और क्योंकि उनकी समस्त ऊर्जा अचर[2] होनी चाहिए, उनका नया वेग v' ऐसा होगा

$$\tfrac{1}{2}mv'^2 = e\,(P+V_\circ).$$

अर्थात् $$v' = \sqrt{\frac{2e}{m}(P+V_\circ)}\,.$$

इस प्रकार $V_\circ$ विभववाले आकाश मे तरग दैर्घ्य होगा

$$\lambda' = \frac{h}{\sqrt{2me(P+V_\circ)}}$$

अतः वर्तनाक μ के लिए व्यजक होगा

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{P+V_\circ}{P}} = \sqrt{1+\frac{V_\circ}{P}}\,\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

इससे तुरंत स्पष्ट होता है कि वर्तनाक आपाती इलेक्ट्रानो की वोल्टता P पर निर्भर होता है। मद इलेक्ट्रानो के लिए इसके प्रभाव बहुत अधिक होते हैं। ३०,००० और उससे अधिक वोल्टता के इलेक्ट्रानो के लिए वर्तनाक बहुत कम होता है, किन्तु इसके प्रभाव महत्तमों की स्थिति-परिवर्तन के रूप में तब भी काफी सरलता से प्रकट हो जाते हैं। सभी महत्तम प्रतिच्छाया-कोर[3] की ओर खिसक जाते हैं।

आंतरिक विभव का मापन—अल्प वोल्टताओं पर आन्तरिक विभव का मापन जर्मर, रूप, फार्न्सवर्थ और अन्यो ने किया है। यह कार्य मुख्यत: धातुओं से सम्बन्ध रखता है, और सार्वतः यह पाया गया है कि किसी एक मणिभ के लिए आन्तरिक विभव एक अचर-राशि होता है, जो आपाती इलेक्ट्रान दंड की वोल्टता पर निर्भर नही होता। किन्तु फार्न्सवर्थ पाता है कि ताँबे के लिए इसका मान प्रयुक्त इलेक्ट्रानों की वोल्टता के साथ स्पष्टतः बदलता रहता है। मंद इलेक्ट्रानों के साथ होनेवाले इस

1. Potential energy 2. Constant 3. Shadow edge

प्रभाव की, और अन्य प्रभावों की जिन पर आगे विचार होगा, पूर्णतः व्याख्या नही हो सकी है, यद्यपि यह सुझाव दिया गया है कि ये प्रभाव असामान्य विक्षेपण[1] अथवा पष्ठीय अशुद्धियों[2] के कारण हों। आंतरिक विभव के कुछ ऋणात्मक मान जो पाये गये है, उनकी व्याख्या सभवतः इलेक्ट्रानो के आपात की क्रिया से नमूने पर एक पष्ठीय चार्ज के एकत्र होने की मान्यता पर हो सकती है।

उच्च वोल्टताओ पर V_o के मापन शीनोहारा, यामागुटी, डर्वीशायर, दीक्षित, टिलमैन, और दूसरों ने किये हैं। टिलमैन ने रौक साल्ट, यशद ब्लैंड[3], गलैना[4], पायराइट, स्टिबनाइट, फ्लोरस्पार, केल्साइट, और जिप्सम से ३ से ५ किलोवोल्ट के परास में भी मापन किये हैं, और प्राप्त फलो में और २०–४० किलोवोल्ट के इलैक्ट्रानों से निर्धारित फलों में अच्छा मेल पाया है। विभिन्न प्रयोगकर्त्ताओं द्वारा प्राप्त फलों की एक सारणी नीचे दी जा रही है।

सारणी–१ कुछ मणिभों के आंतरिक विभव

नमूना	यामागुटी	शीनोहारा	टिलमैन	मध्यमान
रौकसाल्ट	7 7	6 3	7 2 उ. 6 0 नि	7·0
केल्साइट	12·4	13 8	12·9 12·5	12·9
अभ्रक	10 6	10 4	—	10·5
यशद ब्लैंड	12·2	12·2*	12 6 12·1	12·3
गलैना	12.5 (दीक्षित)	—	14·1 13·1	13·2
स्टिबनाइट	11·9	—	14·7 —	13·3
जिप्सम	9·1	—	7·9 7·5	8·5
फ्लोरस्पार	—	15 (रायथर)	11·9 13·3	12 6
ग्रेफाइट	11·5	10 7(जेंकिस)	—	11·1

उ. और नि. क्रमानुसार पूर्वलिखित उच्च तथा निम्न वोल्टता के परासों को व्यक्त करते हैं।

* मियाके ने और किकुची तथा नाकागावा ने भी यही मान प्राप्त किया है।

1. Anomalous dispersion 2. Contamination 3. Zinc blende 4. Galena

प्रयोगात्मक विधियाँ—आंतरिक विभव मापने के लिए, जो विधि द्रुत इलेक्ट्रानों लिए सर्वाधिक प्रचलित है, वह नमूने के विदलन फलक के समांतर तलों से पराव द्वारा उत्पन्न धब्बों की विभिन्न कोटियों[1] की स्थितियों के मापन पर निर्भर है। सुविधा से किया जा सके, इस हेतु प्रायः एक "घूर्णन चित्र"[2] लिया जाता है। इ प्लेट का प्रकाशन[3] करते समय नमूने को धीरे-धीरे उस अक्ष पर घुमाया जाता है मणिभ फलक में स्थित हो और आपाती दंड से लम्ववत् हो। इससे आपात को शून्य से एक ऐसे कोण तक बदलता है जो प्लेट पर आ सकनेवाली उच्चतम कोटि त को लाने के लिए पर्याप्त हो। वैसे तो गहराई प्रतिवन्ध[4] के ढीलन[5] के कारण ध कुछ-कुछ दीर्घित[6] हो जायँगे, किन्तु केन्द्रीय धब्बे और अन्य महत्तमों के बीच की दू सदैव लगभग १ प्रतिशत के भीतर मापी जा सकती है। कभी-कभी मापन प्लेट स्थान पर स्थित एक पर्दे पर किये जाते हैं।

वर्तनांक के कारण धब्बों की स्थितियों पर क्या प्रभाव पड़ता है यह निम्नलिखि रूप से सरलता से ज्ञात किया जा सकता है। मान लीजिए इलेक्ट्रानों का एक व मणिभ फलक से θ कोण बनाता है, और मान लीजिए मणिभ के भीतर वलित किर θ' कोण बनाती है। तो वर्तनांक होगा

$$\mu = \text{ज्या}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) / \text{ज्या}\left(\frac{\pi}{2} - \theta'\right)$$

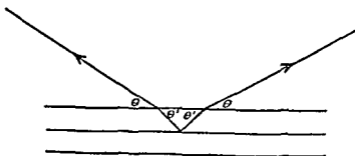
अतः $$\mu^2 - 1 = (\text{कोज्या}^2\theta - \text{कोज्या}^2\theta') / (1 - \text{ज्या}^2\theta').$$

$$= (\text{ज्या}^2\theta' - \text{ज्या}^2\theta) / (1 - \text{ज्या}^2\theta')$$

किन्तु $$\mu = \sqrt{1 + \frac{V_o}{P}},$$

इसलिए $$\frac{V_o}{P} = (\text{ज्या}^2\theta' - \text{ज्या}^2\theta) / (1 - \text{ज्या}^2\theta') \qquad (2$$

यदि θ किसी विवर्तन महत्तम[7] से संगत कोण हो, तो हम जानते हैं कि $2d$ ज्या $\theta' = n$ (यदि तरंग-दैर्घ्य के परिवर्तन की उपेक्षा करदें)।

1. Orders 2. Rotation picture 3 Exposure 4 Depth conditi 5. Relaxation 6. Elongated index 7. Diffraction maximum

आकृति २५—आन्तरिक विभव का प्रभाव दिखाते हुए।

इसलिए $$\text{ज्या}^2\theta' = \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} = \frac{150n^2}{4d^2P}$$

और इसे समीकरण (2) में रखने से

$$\frac{V_o}{P} = \left(\frac{150n^2}{4d^2P} - \text{ज्या}^2\theta\right) \Big/ (1 - \text{ज्या}^2\theta').$$

क्योंकि θ′ सदा छोटा होता है, हम (1—ज्या^{2}θ′) को इकाई मान सकते हैं।

इस प्रकार $$P\,\text{ज्या}^2\theta = \frac{150n^2}{4d^2} - V_o \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

जिसमें P और V_o दोनों वोल्ट में व्यक्त हैं, और d एंगस्ट्रोम में।

इस प्रकार घूर्णन चित्र[1] पर परावर्तन की विभिन्न कोटियों[2] की स्थितियाँ (θ) मापकर फिर कोटि-संख्या n के वर्ग के साथ P ज्या^{2}θ का आलेखन[3] करके हम आतंरिक विभव V_o ज्ञात कर सकते हैं। इस ग्राफ पर P ज्या^{2}θ अक्ष पर अन्तःखण्ड[4] V_o देता है, और रेखा का ढाल ϕ तलों का अंतरण[5] देता है, क्योंकि $\phi = \frac{150}{4d^2}$

यथार्थ मान प्राप्त करने के लिए हमें एक सापेक्षवादी[6] संशोधन लगाना चाहिए। इसके कारण P का मान $P(1+eP/600.\ m_oc^2)$ हो जाता है। यह ध्यान देने की बात है कि यदि V_o काफी बड़ा हो तो n के कुछ मान समीकरण (3) को सन्तुष्ट नहीं करते, और तत्संगत कोटियाँ प्ररूप में नहीं आती।

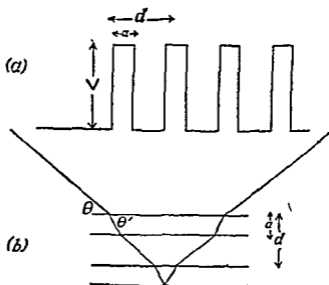
1. Rotation picture 2. Orders 3. Plot 4. Intercept 5. Spacing 6. Relativity

उच्च वोल्टताओं पर अधिकांश कार्यकर्ताओं ने इस विधि का उपयोग किया है, यद्यपि कुछ ने समीकरण (3) में μ और θ के मान रखकर प्रत्येक कोटि के लिए अलग-अलग आन्तरिक विभव परिगणित किये हैं। अल्प वोल्टताओं पर भी इसके बहुत समरूप विधि काम में ली जाती है, सिवाय इसके कि θ प्राय: अचर रखा जाता है और P में परिवर्तन किया जाता है।

उच्च वोल्टताओं पर मध्यमान आन्तरिक विभव के मापन की एक दूसरी विधि शीनोहारा ने काम में ली है। इसमें किकुची रेखाओं पर, विशेषकर प्रतिच्छाया कोर[1] के समातरवाली रेखाओं पर, वर्तन के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है। इस विषय में समीकरण (3) लागू होता है। किकुची रेखा और प्रतिच्छाया कोर के बीच की दूरी को नमूने से प्लेट की दूरी से भाग देकर कोण θ निर्धारित किया जा सकता है। शीनोहारा ने प्रच्छाया कोर की स्थिति ज्ञात करने के लिए तिरछी[2] रेखाओं के उन भागों पर प्रेक्षण[3] किये जिन पर वर्तन का बहुत कम ही प्रभाव पड़ता है, किन्तु टिलमैन ने, जिसने बाद में इस विधि को अपनाया, इसकी स्थिति को एक सरलतर और अधिक प्रत्यक्ष ढंग से निर्धारित किया। लगभग सब अवस्थाओं में प्ररूप की केन्द्रीय रेखा पर एक धब्बा दृश्य होता है, और, चाहे वर्तन हो या न हो, प्रच्छाया कोर इस धब्बे और अविवर्तित दड से प्राप्त धब्बे के बीच ठीक आधी दूरी पर स्थित होना चाहिए। इस विधि से और इससे पूर्व वर्णित विधि से प्राप्त आतरिक विभव के मानों में निकट मेल है।

मणिभ पृष्ठ पर आंतरिक विभव का घटना—यामागुटी ने पाइराइटों[4] के प्राकृत[5] मणिभ फलकों के आन्तरिक विभव मापने का एक विवरण प्रकाशित किया है। घूर्णन विधि का ही प्रयोग किया गया है, किन्तु नमूने की व्यवस्था मे थोडा हेर-फेर किया गया है ताकि केन्द्रीय धब्बे के दोनों ओर के प्ररूप प्राप्त हो सके। महत्तमों की स्थितियों का अधिक यथार्थता से मापन करने के लिए सूक्ष्मदीप्तिमापी[6] वक्र लिये गये, और प्रत्येक कोटि के लिए आंतरिक विभव अलग-अलग परिगणित किये गये। यह पाया गया कि अल्प कोटियों के लिए, उच्च कोटियों की अपेक्षा, आतरिक विभव कम आता है। यह भी देखा गया है कि धब्बे आपात कोण की काफी बडे परास पर फैले होते हैं, और यह फैलाव सममित[7] नही होता, बडे कोण की ओर तीव्रता अधिक तेजी से गिरती है। छोटे कोणों के लिए आतरिक विभव कम होने की सभावना वेथे के गतिकीय[8]

1. Shadow edge 2. Oblique 3. Observation 4. Pyrites 5. Natural 6. Microphotometer 7. Symmetrical 8. Dynamical

सिद्धान्त से प्रकट होती है, जिस पर आगे विचार किया जायगा, और लास्कारयू[6] ने इसकी सिद्धान्तित व्याख्या दी है। अपने फलों की व्याख्या के लिए यामागुटी ने मणिभ के एक सरल मॉडल की कल्पना की, जो लास्कारयू द्वारा प्रयुक्त मॉडल के समान ही है, और जिसे चित्र २६ (a) में दिखाया गया है। उसने मान्यता की कि मणिभ में, उसके फलक से समातर समतल गुटकों के रूप में, उच्च विभव के क्षेत्र[1] घटित होते हैं। मान लीजिए इन गुटकों के बीच अंतरण d है, और उनकी चौड़ाई α है। तब मणिभ के भीतर किसी किरण का पथ वैसा होगा जैसा आकृति २६ (b) में दिखाया गया है।

आकृति २६—मणिभ के उस मॉडल को दर्शाते हुए जिसके आधार पर यामागुटी ने आपात कोण के साथ आभासी[2] आंतरिक विभव के परिवर्तन की व्याख्या दी है।

यदि आपाती किरण पृष्ठ से कोण θ बनाती है, और उच्च विभव के क्षेत्रों में किरण कोण θ' बनाती है, तो इन क्षेत्रों में वर्तनांक μ होने पर समीकरण

$$\mu^2 - 1 = \text{ज्या}^2\theta' - \text{ज्या}^2\theta$$

लागू होगा।

1. Regions 2. Apparent

यदि मध्यमान आंतरिक विभव V_o है, और उच्च विभव के क्षेत्रों में विभव V है, तो

$$dV_o = \alpha V,$$

अतः
$$(\mu^2 - 1)\alpha = (\mu_o^2 - 1)\, d,$$

जिसमें μ_o मापित वर्तनांक है। यदि कोण θ एक विवर्तित दंड से संगत हो, तो दो सलग्न[1] तहों के बीच पथांतर होगा

$$n\lambda = 2\alpha \text{ ज्या } \theta' + 2\ (d - \alpha) \text{ ज्या } \theta,$$

यदि हम तरंग-दैर्घ्य के अल्प परिवर्तन की उपेक्षा करें तो।

इस प्रकार

$$\text{ज्या}^2\theta' = \left(\frac{n\lambda - 2(d - \alpha) \text{ ज्या } \theta}{2\alpha}\right)^2$$

$$(\mu_o^2 - 1) = \frac{\alpha}{d}(\mu^2 - 1) = -\frac{\alpha}{d} \text{ ज्या}^2\theta + \frac{n^2\lambda^2}{4\alpha d}$$

$$- \frac{\alpha}{d}\left(\frac{d - \alpha}{\alpha}\right)\frac{n\lambda}{\alpha} \text{ ज्या}\theta + \frac{\alpha}{d}\left(\frac{d - \alpha}{\alpha}\right)^2 \text{ज्या}^2\theta$$

$$= \frac{n^2\lambda^2}{4d^2}\left\{1 + \left(\frac{d - \alpha}{\alpha}\right)\right\} - \text{ज्या}^2\theta \left\{1 - \left(\frac{d - \alpha}{d}\right)\right\}$$

$$- \frac{d - \alpha}{d\alpha} \cdot n\lambda \text{ज्या}\theta + \frac{\alpha}{d}\left(\frac{d - \alpha}{\alpha}\right)^2 \text{ज्या}^2\theta$$

$$= \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} - \text{ज्या}^2\,\theta + \frac{d - \alpha}{\alpha} \cdot \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} - \frac{d - \alpha}{d\alpha} \cdot n\lambda \text{ज्या } \theta$$

$$+ (d - \alpha)\left(\frac{1}{d} + \frac{d - \alpha}{\alpha d}\right) \text{ज्या}^2\theta$$

$$\frac{V_o}{P} = \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} - \text{ज्या}^2\theta + \frac{d - \alpha}{\alpha}\left(\frac{n\lambda}{2d} - \text{ज्या } \theta\right)^2 \cdots \qquad \cdots \quad (4)$$

समीकरण (3) से इसकी तुलना करके देखा जा सकता है कि एकमात्र संशोधक पद $\frac{d - \alpha}{\alpha}\left(\text{ज्या } \theta - \frac{n\lambda}{2d}\right)^2$ है।

1. Adjacent

नहीं आते, अर्थात् जो उसी तरंग-दैर्घ्य की x–किरणों से नही आने चाहिए। इनकी उपस्थिति से उलझन पैदा हो जाती है।

ये महत्तम, जो विभिन्न प्रकृतियों के होते हैं, निम्नलिखित कारणों के अनुसार वर्गीकृत हो सकते है—

(१) पृष्ठीय ग्रेटिंग[1] से परावर्तन।

(२) सरल सिद्धान्त के अनुसार शून्य आंतरिक विभव पर प्रत्याशित स्थितियों पर पड़नेवाले महत्तम। ये पृष्ठ पर की सीढ़ियों[2] से परावर्तित तरंगिकाओं के बीच व्यतिकरण[3] से उत्पन्न होते माने जाते है।

(३) रचना गुणांक[4], अर्द्ध कोटियाँ[5], आदि द्वारा वर्जित स्थितियों पर पड़ने वाले महत्तम।

(४) महत्तमों की बारीक रचना[6]।

इनमें से (१) तथा (२) वर्ग के महत्तम सामान्यत: क्षीण होते है, क्योंकि इनका उद्गम पृष्ठों पर ही होता है।

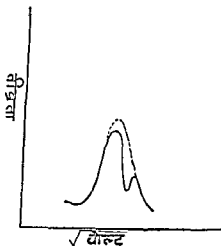
वर्जित महत्तमों की व्याख्या प्राय: मणिभ के पृष्ठ पर गैस की एक तह या मणिभ की लैटिस में घुसी गैस के आधार पर की जा सकती है। ऐसी अवस्था में नमूने को गरम करने से ये महत्तम सामान्यतः क्षीण या लुप्त हो जाते है। किन्तु यह व्याख्या सब बार नही लागू होती, और अभी यह पूर्णत. समझ में नहीं आया है कि कुछ वर्जित कोटियाँ क्यों प्रकट होती है।

बारीक रचना नामक प्रभाव को सर्वप्रथम फार्न्सवर्थ ने देखा। वोल्टता के वर्गमूल के साथ परावर्तन की तीव्रता दर्शानेवाले वक्र में महत्तमों के निकट ही गौण[7] चोटियाँ आती है। दो थोड़े-से भिन्न आपात कोणों के लिए खींचे गये वक्रों में इन चोटियों की बिलकुल भिन्न जमावटें पायी जाती है।

लास्कारव् ने, गतिकीय[8] सिद्धान्त पर आधारित, एक व्याख्या दी है, जो बारीक रचना सम्बन्धी प्रभाव का समाधान करती है। ज्यों-ज्यों आपाती दंड की वोल्टता बढ़ाते हैं, ऐसे मणिभ तलों से, जो पृष्ठ के समांतर न हों, अन्य महत्तम उत्पन्न होते हैं। इन महत्तमोंके प्रकट होनेसे उस केन्द्रीय रेखिल महत्तम की तीव्रता घट जायगी जिसका

1. Surface grating 2. Steps 3. Interference 4. Structure factor 5. Half orders 6. Fine structure 7. Subsidiary 8. Dynamical

प्रेक्षण किया जा रहा है। इसके फलस्वरूप चोटी मे एक अवनमन आ जाता है, जैसा आकृति २८ में दिखाया गया है। पूर्ण रेखा से प्रेक्षित स्वरूप में चोटी को दिखाया गया है और बिन्दुमय रेखा से वह स्वरूप जो अन्य महत्तमो के प्रकट न होने पर होना चाहिए था। यह ध्यान देने की बात है कि प्रेक्षित स्वरूप का प्रमुख महत्तम बिन्दुमय वक्र के महत्तम से खिसका हुआ है। इस विचार का अनुसरण करते हुए लास्कारचू ने फार्न्सवर्थ के प्रेक्षणों से ताम्र के आंतरिक विभव का पुनर्निर्धारण किया है। ऐसा करने पर उसने पाया कि आन्तरिक विभव को कोणके साथ आलेखित[1] करने से एक चिक्कण[2] वक्र प्राप्त होता है, अनियमित[3] परिणमन[4] नहीं होता, जैसा फार्न्सवर्थ ने समझा था।

फार्न्सवर्थ ने यह भी पाया कि आपात और परावर्तन के एक ही कोणो के लिए स्वर्ण और चाँदी के मणिभों से प्राप्त विभिन्न महत्तमो की स्थिति और रचना में बहुत अंतर आते हैं। क्योंकि इन दोनो मणिभों की एक ही रचना है, और लैटिस स्थिराक भी 0 4 प्रतिशत के भीतर एक ही है, इन अतरो का कारण या तो पृष्ठीय अतरो में निहित हो सकता है, या परमाणुगत अतरों मे। स्वर्ण के किसी मणिभ पर निक्षिप्त[5] चाँदी की एक पतली तह से प्राप्त प्ररूप सार्व रूप से वही आया जो ठोस चाँदी के गुटके मे। फार्न्सवर्थ का विचार है कि चाँदी के इस पतले पटल में सभवत उसी प्रकार का पृष्ठ है जैसा स्वर्ण के गुटके का, और क्योंकि इसका प्ररूप (पैटर्न) ठोस चाँदी के गुटके के प्ररूप जैसा ही है, वे इस प्रमाण को स्वर्ण और चाँदी के प्ररूपो की भिन्नता को पृष्ठीय प्रभावो के कारण मानने के सिद्धान्त के विरुद्ध मानते हैं। फिर भी वे कहते हैं कि यह प्रमाण निश्चयात्मक नही है। यदि इन दो धातुओं के प्ररूपों का यह अंतर किसी पृष्ठीय प्रभाव के कारण नहीं है, तो यह किसी ऐसे परमाणु गत प्रभाव के कारण होना चाहिए जिसे बारीक रचना की उपर्युक्त व्याख्या में सम्मिलित नहीं किया गया है।

आकृति २८—बारीक रचना।

1. Plot 2. Smooth 3. Irregular 4. Variation 5. Deposited

इलेक्ट्रान विवर्तन का विक्षेपण[1] सिद्धान्त--विगत वर्णन से स्पष्ट होगा कि, कम से कम द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए, एकाकी मणिभ के विदलन फलक[2] से परावर्तन द्वारा प्राप्त प्ररूप के प्रमुख गुणों की व्याख्या हो सकती है, किन्तु अभी तक ऐसा कोई सिद्धान्त नहीं है जो प्रेक्षित तीव्रता वितरण[3] की भलीभाँति व्याख्या कर सके। ऐसा कोई सिद्धान्त स्थापित करने के लिए, जो प्रत्याशित तीव्रता वितरण का कोई विवरण दे सके, आपाती और विवर्तित इलेक्ट्रान दंडों के बीच ऊर्जा[4] के विनिमय पर विचार करना आवश्यक है। x–किरण विवर्तन के बारे में भी एक ऐसी ही समस्या आती है, और डारविन तथा ईवाल्ड दोनों ने एक विक्षेपण सिद्धान्त प्रतिपादित किया है, जो विभिन्न कोटियों के बीच तीव्रता वितरण की परिगणना देता है। इन सिद्धान्तित फलों का प्रयोगात्मक फलों से निकट मेल आता है।

इलेक्ट्रानों के लिए बेथे ने एक गतिकीय[5] सिद्धान्त दिया है जो x–किरण सम्बंधी विक्षेपण सिद्धान्त से निकटतः संबंधित है। वह मणिभ को एक तिहरी फूरियर श्रेणी[6] से निरूपित विभव वितरण[7] मानता है, और उसमें डी ब्रोगली तरंगों के संचरण पर विचार करता है। विभव के लिए जो व्यंजक[8] है उसे तरंग समीकरण में सम्मिलित किया जाता है, और एक फूरियर श्रेणी के रूप में उसका हल निकाला जाता है। यह हल समतल तरंगों की एक श्रेणी को निरूपित करता है, जिनकी दिशाएँ विवर्तित दंडों की समस्त संभव दिशाएँ हैं, और जिनकी तीव्रताएँ परस्पर परतंत्र हैं। मंद इलेक्ट्रानों के लिए निर्बल दंडों का प्रभाव सबल दंड की तीव्रता पर बहुत होता है, किन्तु द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए निर्बल दंडों की संख्या कम होनी चाहिए और उनका प्रभाव उपेक्षणीय। बेथे ने उस केस[9] की गणना की है जब केवल एक ही सबल विवर्तित दंड प्रकट होता है, और पाया है कि आपात कोण के एक छोटे परास[10] के लिए परावर्तन पूर्ण होता है, और इस परास के बाहर वह वास्तव में बहुत ही तेजी से गिरता है। यह परिगणना ठीक x–किरणों के विषय में डारविन के सिद्धान्त की परिगणनाओं-जैसी है, किन्तु जबकि x–किरणों में सिद्धान्त और प्रयोग में सामंजस्य अच्छा है, इलेक्ट्रानों के लिए प्रेक्षित फैलाव सिद्धान्तित परिगणना से बहुत अधिक है। उदाहरणतः, हीरे के (333) परावर्तन में, 30000 वोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए, सिद्धान्तित फैलाव 2′ की कोटि का होता

1. Dispersion 2. Cleavage face 3. Intensity distribution 4. Energy 5. Dynamical 6. Triple Fourier Series 7. Potential distribution 8. Expression 9. Case 10. Range

कोणों पर एक परावर्तित धब्बा होगा, यद्यपि उसकी तीव्रता में परिणमन[1] होगा। मणिभ के सत्य ब्रैग कोण पर आपाती दंड का जो भाग ऊपर की तहों को पार कर जाता है, वह मणिभ के मूल आयतन में भी परावर्तित हो जायगा, जहाँ अंतरण एकसमान है, और वेथे का सिद्धान्त लागू होता है। यह सिद्धान्त धब्बों के काफी परास के कोण तक फैलाव की एक संभव व्याख्या तो करता ही है, साथ ही प्रत्यास्थतः[2] प्रकीर्णित विसरित विकिरण[3] का कारण भी बता सकता है, मणिभ के मूल आयतन में जिसके सुविशिष्ट[4] परावर्तन से तीक्ष्ण किकुची रेखाएँ उत्पन्न होती हैं।

ब्रैग कोण पर वेथे का सिद्धान्त बताता है कि परावर्तन पूर्ण होगा। यह प्रयोग से मेल नहीं खाता। मंद इलेक्ट्रानों के लिए एहरेनबर्ग का परिमाप[5] है कि परावर्तित दंड की तीव्रता आपाती दंड की तीव्रता की 10^{-2} से 10^{-4} गुनी है, जबकि बौचिंग ने 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए आपाती दंड और विवर्तित दंड की तीव्रता का अनुपात लगभग 100 : 1 पाया है। इस अनुपात के निर्धारण में इस बात को गणना में नहीं लिया गया है कि आपाती दंड कठोरतः समांतर न होकर 5′ की कोटि के फैलाव का था। इसका प्रभाव विवर्तित दंड की तीव्रता को कम करनेवाला होगा, क्योंकि सभी इलेक्ट्रान सही ब्रैग कोण पर आपतित नहीं होंगे, किन्तु फिर भी सिद्धांतित और प्रेक्षित तीव्रता के विपुल अंतर का समाधान इससे नहीं होगा, विशेषतः इसलिए कि वेथे के सिद्धान्त के अनुसार कोण की कई कला[6] परास तक परावर्तन पूर्ण होना चाहिए। निश्चय ही, यह विभेद अधिकांशतः इसलिए है कि वेथे का सिद्धान्त अवशोषण[7] को गणना में नहीं लेता, और हम संकेत कर ही चुके हैं कि यह एक महत्त्वपूर्ण बात है।

किकुची रेखाएँ—जैसा इस अध्याय के प्रारंभ में कहा गया है, किसी एकाकी मणिभ के एक विदलन[8] फलक पर परावर्तन से प्राप्त विवर्तन प्ररूप सदैव अनेक पतली काली और श्वेत रेखाओं से कटा होता है, जो उसी प्रकार की होती हैं जिन्हें सर्वप्रथम किकुची ने अपने अभ्रक के पार संचरणवाले प्रयोगों में देखा था, और जो निश्चयतः उसी प्रकार उत्पन्न भी होती हैं। यहाँ काली और श्वेत को फोटोग्राफी प्लेट पर समझना चाहिए, अर्थात् काली रेखा पृष्ठभूमि से अधिक इलेक्ट्रान तीव्रता की रेखा है, और श्वेत रेखा कम तीव्रता की। जैसा पारगमन संबंधी प्ररूपों में होता है, और जैसा उनकी

1. Variation 2. Elastical 3. Diffuse radiation 4. Selective 5. Estimate 6. Minutes of arc 7. Absorption 8. Cleavage

उत्पत्ति संबंधी सिद्धान्त यदि सत्य हों तो, होना ही चाहिए, काली और श्वेत रेखाएँ सदा युग्मों में प्रकट होती हैं, और श्वेत रेखा सदा अविक्षेपित[1] दड से निकटतर होती है। सगत काली और श्वेत रेखाओं के बीच की दूरी उस विक्षेप के बराबर होती है जो जो उन रेखाओं को उत्पन्न करनेवाले तल-सघात[2] पर ब्रैग परावर्तन से उत्पन्न होता है (ये रेखाएँ उस तल सघात के समातर होगी)। अधिकाश मणिभों के साथ, किसी भी आपात कोण पर, प्रतिच्छाया-कोर[3] के समातर अनेक काली रेखाओं की कोटियाँ प्रकट

आकृति २९—यह बताते हुए कि किकुची रेखाएँ कैसे प्रतिच्छेद[4] करती हैं।

होती हैं। ये विदलन तलों से परावर्तन द्वारा उत्पन्न होती है, और ये ही वे रेखाएँ हैं जिनका उपयोग शीनोहारा ने आतरिक विभव मापने मे किया था। इनके अतिरिक्त कुछ विकर्ण[5] रेखाएँ होती हैं जो बहुत जटिल प्रश्न पैदा करती है, विशेषकर मणिभ की कुछ सममित संस्थितियों[6] में, जैसा मुखपृष्ठ के चित्र ३ मे स्पष्ट होगा। उलझन न केवल रेखाओं के आधिक्य से उत्पन्न होती है, बल्कि इसलिए भी कि जहाँ ये रेखाएँ प्रतिच्छेद करती हैं वहाँ इनमें परस्पर व्यतिकरण[7] होता है। जब दो रेखाएँ काटती हैं, तो आकृति २९ मे बताये गये ढग से काटती हैं और इसकी एक सभावित व्याख्या, बेथे सिद्धान्त के आधार पर, शीनोहारा[33] ने दी है। किकुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण को दृष्टि में रखकर हम यह मानने को बाध्य होते हैं कि बहुज[8] प्रकीर्णनो में से अंतिम तो प्रत्यास्थी[9] है ही, चाहे प्रारभवाले अप्रत्यास्थी ही हों।

एक और ध्यान देने योग्य बात यह प्रश्न है जो मणिभ के एक तल-सघात को आपात तल के समातर, या लगभग समातर सस्थित करने से प्राप्त होता है। ऐसी

1. Undeflected 2. Set of planes 3. Shadow edge 4. Intersect
5. Diagonal 6. Symmetrical settings 7. Interference 8. Multiple 9. Elastic

कोणों पर एक परावर्तित धब्बा होगा, यद्यपि उसकी तीव्रता में परिणमन[1] होगा। मणिभ के सत्य ब्रैग कोण पर आपाती दंड का जो भाग ऊपर की तहों को पार कर जाता है, वह मणिभ के मूल आयतन में भी परावर्तित हो जायगा, जहाँ अंतरण एकसमान है, और बेथे का सिद्धान्त लागू होता है। यह सिद्धान्त धब्बों के काफी परास के कोण तक फैलाव की एक सम्भव व्याख्या तो करता ही है, साथ ही प्रत्यास्थतः[2] प्रकीर्णित विसरित विकिरण[3] का कारण भी बता सकता है, मणिभ के मूल आयतन में जिसके सुविशिष्ट[4] परावर्तन से तीक्ष्ण किकुची रेखाएँ उत्पन्न होती हैं।

ब्रैग कोण पर बेथे का सिद्धान्त बताता है कि परावर्तन पूर्ण होगा। यह प्रयोग से मेल नहीं खाता। मद इलेक्ट्रानों के लिए एहरेनबर्ग का परिमाप[5] है कि परावर्तित दंड की तीव्रता आपाती दंड की तीव्रता की 10^{-3} से 10^{-4} गुनी है, जबकि कीचिंग ने 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए आपाती दंड और विवर्तित दड की तीव्रता का अनुपात लगभग 100 : 1 पाया है। इस अनुपात के निर्धारण में इस बात को गणना में नहीं लिया गया है कि आपाती दंड कठोरतः समातर न होकर 5′ की कोटि के फैलाव का था। इसका प्रभाव विवर्तित दंड की तीव्रता को कम करनेवाला होगा, क्योंकि सभी इलेक्ट्रान सही ब्रैग कोण पर आपतित नही होंगे, किन्तु फिर भी सिद्धांतित और प्रेक्षित तीव्रता के विपुल अंतर का समाधान इससे नही होगा, विशेषतः इसलिए कि बेथे के सिद्धान्त के अनुसार कोण की कई कला[6] परास तक परावर्तन पूर्ण होना चाहिए। निश्चय ही, यह विभेद अधिकाशतः इसलिए है कि बेथे का सिद्धान्त अवशोषण[7] को गणना में नही लेता, और हम संकेत कर ही चुके हैं कि यह एक महत्त्वपूर्ण बात है।

किकुची रेखाएँ—जैसा इस अध्याय के प्रारंभ में कहा गया है, किसी एकाकी मणिभ के एक विदलन[8] फलक पर परावर्तन से प्राप्त विवर्तन प्ररूप सदैव अनेक पतली काली और श्वेत रेखाओं से कटा होता है, जो उसी प्रकार की होती हैं जिन्हें सर्वप्रथम किकुची ने अपने अभ्रक के पार सचरणवाले प्रयोगों में देखा था, और जो निश्चयतः उसी प्रकार उत्पन्न भी होती हैं। यहाँ काली और श्वेत को फोटोग्राफी प्लेट पर समझना चाहिए, अर्थात् काली रेखा पृष्ठभूमि से अधिक इलेक्ट्रान तीव्रता की रेखा है, और श्वेत रेखा कम तीव्रता की। जैसा पारगमन सबंधी प्ररूपों में होता है, और जैसा उनकी

1. Variation 2. Elastical 3. Diffuse radiation 4. Selective 5. Estimate 6. Minutes of arc 7. Absorption 8. Cleavage

उत्पत्ति संबंधी सिद्धान्त यदि सत्य हो तो, होना ही चाहिए, काली और श्वेत रेखाएँ सदा युग्मों में प्रकट होती है, और श्वेत रेखा सदा अविक्षेपित[1] दड से निकटतर होती है। संगत काली और श्वेत रेखाओं के बीच की दूरी उस विक्षेप के बराबर होती है जो जो उन रेखाओं को उत्पन्न करनेवाले तल-सघात[2] पर ब्रैग परावर्तन से उत्पन्न होता है (ये रेखाएँ उस तल संघात के समातर होगी)। अधिकाश मणिभों के साथ, किसी भी आपात कोण पर, प्रतिच्छाया-कोर[3] के समातर अनेक काली रेखाओं की कोटियाँ प्रकट

आकृति २९—यह बताते हुए कि किकुची रेखाएँ कैसे प्रतिच्छेद[4] करती है।

होती हैं। ये विदलन तलों मे परावर्तन द्वारा उत्पन्न होती है, और ये ही वे रेखाएँ है जिनका उपयोग शीनोहारा ने आतरिक विभव मापने में किया था। इनके अतिरिक्त कुछ विकर्ण[5] रेखाएँ होती है जो बहुत जटिल प्ररूप पैदा करती है, विशेषकर मणिभ की कुछ सममित सस्थितियों[6] मे, जैसा मुखपृष्ठ के चित्र ३ से स्पष्ट होगा। उलझन न केवल रेखाओं के आधिक्य से उत्पन्न होती है, बल्कि इसलिए भी कि जहाँ ये रेखाएँ प्रतिच्छेद करती है वहाँ इनमे परस्पर व्यतिकरण[7] होता है। जब दो रेखाएँ काटती है, तो आकृति २९ में बताये गये ढंग से काटती है और इसकी एक सभावित व्याख्या, वेथे सिद्धान्त के आधार पर, शीनोहारा[ा] ने दी है। किकुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण को दृष्टि में रखकर हम यह मानने को बाध्य होते है कि बहुज[8] प्रकीर्णनों में से अंतिम तो प्रत्यास्थी[9] है ही, चाहे प्रारंभवाले अप्रत्यास्थी ही हों।

एक और ध्यान देने योग्य बात वह प्ररूप है जो मणिभ के एक तल-सघात को आपात तल के समांतर, या लगभग समातर सस्थित करने से प्राप्त होता है। ऐसी

1. Undeflected 2. Set of planes 3. Shadow edge 4. Intersect
5. Diagonal 6. Symmetrical settings 7. Interference 8. Multiple 9. Elastic

दशा में हम आशा कर सकते है कि काली और श्वेत रेखाओं का एक संपाती[1] युग्म मध्य रेखा के दोनों ओर उत्पन्न होगा, और इनके परस्पर सतुलन से एकसमान पृष्ठभूमि अंकित होगी। वास्तव में होता यह है कि जहाँ इन रेखाओं को प्रकट होना चाहिए था उन स्थितियों के बीच के स्थान पर एक काली पट्टी आती है। ऐसी पट्टी के पार लिया गया दीप्तिमापीय[2] वक्र आकृति ३० के अनुसार रचना प्रकट करता है, और पट्टी की चौड़ाई उस स्थानान्तर के बराबर होती है जो तत्सगत तलों से ब्रैग परावर्तन द्वारा उत्पन्न होता । इन ऊर्ध्वाधर पट्टियों की अनेक कोटियाँ[3] प्राय. एक दूसरे पर अध्यारोपित होती हैं, और इनकी चौड़ाइयाँ समांतर श्रेढ़ी[4] से बढ़ती जाती हैं। काली और श्वेत

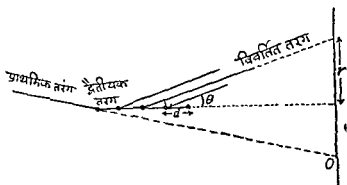
आकृति ३०—एक पट्टी के पार तीव्रता वितरण दिखाते हुए।

रेखाओं के विकर्ण युग्म[5], जो विदलन फलक और आपात तल में स्थित कटिबंध-अक्ष[6] से गुजरते तलों के कारण उत्पन्न होते हैं, देखने में उपर्युक्त पट्टियों से बहुत कुछ समान ही होते हैं; केवल केन्द्रीय धब्बे से दूरवाली दिशा की सीमा, पासवाली दिशा की सीमा की तुलना में, निश्चितत. अधिक काली होती है। (देखिए मुखपृष्ठ, आकृति ३)

इन पट्टियों के प्रकट होने की कोई संतोषप्रद व्याख्या अब तक प्रस्तुत नही की गयी है, यद्यपि वेवे के सिद्धान्त पर आधारित एक संभाव्य व्याख्या शीनोहारा[38] ने दी है।

एक-दिश[7] प्ररूप—एक-दिश इलेक्ट्रान विवर्तन की सभावना पर सर्वप्रथम एमस्ली[2] ने ध्यान दिलाया। स्टिबनाइट मणिभ के (010) पृष्ठ की कुछ संस्थितियों मे उसने एक विवर्तन प्ररूप प्राप्त किया जिसमें दो बारीक अर्धवृत्ताकार काली रेखाएँ थी। जिस सुविशेष संस्थिति में यह प्रभाव उत्पन्न होता है, उसमें मणिभ पृष्ठ के एंटीमनी परमाणुओं की एक बड़े अंतरणवाली पक्ति आपात तल में पड़ती है, और वृत्तों का केन्द्र वह बिन्दु होता है जहाँ यह पंक्ति प्लेट को प्रतिच्छेदित[8] करती है।

1. Coincident 2. Photometric 3. Orders 4. Arithmetic progression
5. Diagonal pairs 6. Zone axis 7. One-dimensional 8. Intersect

इस प्रभाव की व्याख्या करने के लिए एमस्ली ने मान्यता की कि एक अप्रत्यास्थी[1] टक्कर[2] के उपरान्त, इलेक्ट्रान का तरंग-गुट्ट[3] मुख्यतः आपात तलवाली ही परमाणु-पंक्ति में सीमित हो जाता है, जैसे वह एक प्रकार की विभव-नली[4] में पकड़ा गया हो। उस दशा में यह उस नली के विभव-परिवर्तनों से (दूसरे शब्दों में, उस पंक्ति के परमाणुओं से) ही प्रकीर्णित होती है।

आकृति ३१—यह दिखाते हुए कि एक-दिश[5] विवर्तन से एक वृत्त कैसे उत्पन्न हो सकता है। (आकृति में 'द्वैतीयिक तरंग' पढिए)

अब नियमित दूरी पर स्थित परमाणुओं की एकाकी पंक्ति द्वारा उस पंक्ति की दिशा में चलते इलेक्ट्रान तरंग-गुट्ट के विवर्तन के प्रतिबन्ध[6] पर विचार कीजिए। आकृति ३१ में प्राथमिक, द्वैतीयिक, तथा विवर्तित तरंगों की दिशाएँ दिखायी गयी हैं। मान लीजिए इलेक्ट्रान का तरंग-दैर्घ्य निर्वात में λ है, और विभव नली में λ′ है। तो θ कोण पर विवर्तन महत्तम के लिए प्रतिबन्ध हो जाता है—

$$\frac{2\pi d}{\lambda'} - \frac{2\pi d \text{ कोज्या } \theta}{\lambda} = 2\pi n,$$

जिसमें d पड़ोसी परमाणुओं के बीच का अंतरण है। अब $\lambda = \lambda' \sqrt{1 + \frac{V}{P}}$ जबकि V नली और स्वतंत्र आकाश के बीच विभवान्तर[7] है, और P आपाती इलेक्ट्रानों की वोल्टता है। अतः उपर्युक्त समीकरण हो जाता है—

1. Inelastic 2. Collision 3. Wave packet 4. Potential tube 5. One-dimensional 6. Condition 7. Potential difference

$$\frac{V}{P} = \frac{2n\lambda}{d}\left(\text{कोज्या } \theta + \frac{n\lambda}{2d}\right) - \text{ज्या}^2\ \theta.$$

इस सम्बन्ध से V की गणना हो सकती है, क्योंकि θ के मान वृत्तों की त्रिज्याएँ माप कर निर्धारित हो सकते हैं। यदि हम $\frac{V}{P}$ की उपेक्षा कर दें, क्योंकि वह अल्प है, तो

$$\text{ज्या}^2\ \theta = \frac{2\lambda n}{d}\left(\text{कोज्या } \theta + \frac{n\lambda}{2d}\right),$$

जिससे स्पष्ट होता है कि प्रथम कोटि[1] के वृत्त की अपेक्षा द्वितीय कोटि के वृत्त की त्रिज्या लगभग $\sqrt{2}$ गुनी होगी।

एमस्ली ने वृत्तों की त्रिज्याओं के मापों से अपने सिद्धान्त की पुष्टि की, और बताया कि नली के भीतर का मध्यमान विभव 26 वोल्ट की कोटि का था। बाद में टिलमैन ने यशद ब्लैंड[2] के (110) विदलन फलक से परावर्तन द्वारा प्राप्त ऐसे ही वृत्तों के अनेक माप किये। वह मणिभ की चार भिन्न-भिन्न दिगंश[3] की संस्थितियों से ये वृत्त प्राप्तकर सका, यद्यपि अंतरण की अपेक्षाकृत अल्पता के कारण उसे प्रत्येक संस्थिति के लिए एक ही वृत्त प्राप्त हो सका। इन वृत्तों से जो अतिरिक्त विभव का मान प्राप्त हुआ, वह दिगंश के साथ परिणमन दिखाता है। एक सरल मणिभ-रूप की मान्यता की गयी, और इसके आधार पर प्रयोगाधृत चार दिशाओं में यशद और गन्धक के परमाणुओं की पंक्तियों पर मध्यमान आंतरिक विभव के मान परिगणित किये गये। ये मान मापित मानों से बहुत साम्य रखते हैं, जिससे इस दृष्टिकोण को काफी बल मिलता है कि ये वृत्ताकार प्ररूप एक-दिश विवर्तन के प्रभाव से उत्पन्न होते हैं। (देखिए मुखपृष्ठ, आकृति ३)

टिलमैन ने निर्देश किया है कि एमस्ली की यह कुछ अस्वाभाविक मान्यता कि इलेक्ट्रान तरंग-गुट्ट एक विभव नली के भीतर सीमित हो जाता है, इस सिद्धान्त का आवश्यक अंग नहीं है। एक इलेक्ट्रान, किसी परमाणु को ऊर्जा[4] हस्तान्तरित करने के बाद, एक गोलीय[5] तरंग के रूप में फैलेगा, किन्तु तरंग की तीव्रता आपाती दंड की दिशा में ही महत्तम होगी। इस कारण से आपात तल में परमाणुओं की पंक्ति की दिशा में चलनेवाली तरंग की तीव्रता काफी अधिक होगी। समुचित कोणों पर इस पंक्ति के

1. Order 2. Zinc blende 3. Azimuth 4. Energy 5. Spherical

क्रमिक[1] परमाणुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाएँ प्रबलन करेंगी। समांतर पंक्तियों के क्रमिक परमाणुओं की तरंगिकाएँ परस्पर एक कला में नहीं होंगी, क्योंकि प्राथमिक इलेक्ट्रान के प्रकीर्णन बिन्दु से इन परमाणुओं की दूरियाँ समांतर श्रेढ़ी[2] में नहीं होंगी। अतः विभिन्न पंक्तियों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं का पारस्परिक व्यतिकरण[3] उपेक्षित किया जा सकता है।

बाद के एक लेख में फिंच, क्वारेल और विल्मेन ने सुझाव दिया है कि ये वृत्त किकुची रेखाओं के अन्वालोप[4] हो सकते हैं। यह दिखाया जा सकता है कि किसी एक कटिबंध अक्ष[5] के सर्वनिष्ठ[6] तलों से उत्पन्न किकुची रेखाएँ परवलयीय अन्वालोप बनाती हैं, और इन परवलयों के अन्वालोप विभिन्न कोटियों के वृत्तों की एक श्रेणी बनाते हैं, जिनकी त्रिज्याएँ कोटि संख्या n के वर्गमूल $\sqrt{n}$ के अनुपात में होती हैं। इस प्रकार, प्रथम सन्निकटता से, यह सिद्धान्त भी वृत्ताकार वलयों के प्रकटन की व्याख्या कर सकता है। किन्तु दिगंश[7] के साथ आंतरिक विभव का जो परिणमन वलयों के माप से पाया गया है, उसकी व्याख्या इससे नहीं होती। इसके स्पष्टीकरण में शिनोहारा ने सुझाव दिया है कि वलयों के प्रेक्षित स्थानान्तर[8] अगत किकुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण से उत्पन्न हो सकते हैं, आंतरिक विभव के परिणमन के कारण नहीं। इस समय यह निश्चय करना कठिन है कि इन सिद्धान्तों में से कौन-सा इस प्रभाव की सत्य व्याख्या है।

एचित एकाकी मणिभ[9]—एचित एकाकी मणिभों द्वारा मन्द इलेक्ट्रानों के विवर्तन का कुछ विवरण पहले दिया जा चुका है। इन प्रयोगों में अनेक अतिरिक्त और अप्रत्याशित कोटियों के प्राप्त होने से प्रेरित होकर जी पी टॉमसन ने चांदी और तांबे के एचित मणिभों का द्रुत इलेक्ट्रानों से परीक्षण किया, यह देखने के लिए कि उनमें भी उपर्युक्त असामान्यताएँ[10] आती हैं या नहीं। मणिभों को सन्निकटतः सही फलक के लिए एक पतली आरी से काट दिया गया, और फिर उन्हें घिसकर एचित कर दिया गया। पहले तो फलक के कोण के संशोधन की क्रिया फार्न्सवर्थ की एक प्रकाशीय विधि से की गयी बाद के प्रयोगों में एचित फलक से प्राप्त इलेक्ट्रान विवर्तन प्ररूप से ही ज्ञात किया गया कि फलक को किसी नियत तल-संघात[11] के समान्तर करने के लिए कोण में कितना परिवर्तन आवश्यक है।

1. Successive 2. Arithmetic progression 3. Interference 4. Envelopes 5. Zone-axis 6. Common 7. Azimuth 8. Displacements 9. Etched Single Crystal 10. Anomalies 11. Set of planes

ऐसे मणिभ पृष्ठ पर सटते कोण पर आपाती द्रुत इलेक्ट्रानों के एक दंड के विवर्तन से फलित प्ररूप धब्बों का एक विस्तृत प्ररूप[1] होता है, बहुत कुछ वैसा, जैसा एक पतले मणिभ पटल के पार संचरण से प्राप्त होता है, सिवाय इसके कि इस प्ररूप का एक अंश मणिभ की छाया से कट जाता है। इन प्ररूपों में क्रास ग्रेटिंग प्ररूपों के समस्त लक्षण पाये गये हैं। सभी प्राप्त धब्बों की व्याख्या एक ही कटिबंध[2] में निहित विभिन्न तलों से परावर्तन के आधार पर हो गयी, और कोई अतिरिक्त कोटियाँ नहीं आयीं। टॉमसन की सम्मति है कि ये प्ररूप एचित पृष्ठ पर बारीक उठानों[3] के बीच से इलेक्ट्रान दंड के गुजरने से बनते हैं, और यह सिद्धान्त अब सार्वतः मान्य है। किन्तु जर्मर[a] का विचार है कि एचित करने के बाद मणिभ पृष्ठ संभवतः अनेक मणिभ गुटकों का बना होगा, जो पृष्ठ से विभिन्न कोणों पर सस्थित हों। उसका मत है कि क्रास-ग्रेटिंग प्रभाव इन मणिभिकाओं[4] के पृष्ठों से दंड के परावर्तन द्वारा उत्पन्न हो सकता है। किन्तु यह विचार सत्य नहीं हो सकता, क्योंकि कुछ बार धब्बेदार प्ररूप और किकुची रेखाएँ साथ-साथ पायी गयी हैं, और ऐसी रेखाएँ तभी उत्पन्न हो सकती हैं जब मणिभ आदर्श के काफी निकट हो। साथ ही, यदि प्ररूप खुले फलकों[5] पर परावर्तन से उत्पन्न होता है, तो एक आंतरिक विभव प्रभाव प्रकट होना चाहिए, जो एचित मणिभों में नहीं पाया गया है। कुछ मणिभ विदलन फलक, जो संभवतः जर्मर द्वारा बताये गये अर्थ में अनादर्श हैं, ऐसा क्रास-ग्रेटिंग प्रकार का प्ररूप देते हैं जिसमें आंतरिक विभव प्रभाव भी होता है। किन्तु इन प्ररूपों में धब्बे सामान्यतः बहुत ही अस्पष्ट होते हैं, क्योंकि मणिभ-गुटकों का आकार छोटा होने से विवर्तन प्रतिबन्धों में काफी ढीलन[6] होती है। (देखिए मुख-पृष्ठ, आकृति ४)

"व्युत्क्रम लैटिस"[7]—क्रास-ग्रेटिंग प्रकार के प्ररूप को समझने के लिए उसे उत्पन्न करनेवाले मणिभ की "व्युत्क्रम लैटिस" बहुत सहायक होती है।

मान लीजिए हम मणिभ के किसी लैटिस विन्दु से सगत एक विन्दु o लेते हैं। अब इस लैटिस विन्दु से गुजरते सभी लैटिस तलों से अभिलम्ब रेखाएँ $AoA', BoB'....$ खीचते है, और फिर प्रत्येक रेखा पर समदूरस्थ बिन्दुओं की एक श्रेणी अंकित करते हैं, जिनका अंतरण उस लैटिस तल-संघात[8] के अंतरण का व्युत्क्रम है जिससे यह रेखा

1. Extended pattern 2. Zone 3. Projections 4. Crystallites
5. Exposed faces 6. Relaxation 7. Reciprocal lattice 8. Set of planes

अभिलम्ब है। इस प्रकार प्राप्त बिन्दु-समूह एक आकाश-जैटिस[1] बनाते हैं, और उसे उस मणिभ की "व्युत्क्रम जैटिस" कहते हैं। यदि मूलबिन्दु O से गुजरती इस जैटिस की कोई समतल काट[2] लें, तो इस काट पर स्थित व्युत्क्रम-जैटिस के बिन्दु उस क्रास ग्रेटिंग प्रारूप के धब्बों की जमावट निरूपित करते हैं, जो अनन्त अल्प तरंग-दैर्घ्य के एक इलेक्ट्रान दंड को इस समतल काट से अभिलम्ब दिशा में इस मणिभ के पार भेजने से उत्पन्न होगा। व्यवहार में परिमित[3] तरंग-दैर्घ्य का प्रभाव विशेष नहीं होता, क्योंकि दंड की दिशा में मणिभ पतला होने से व्युत्क्रम जैटिस बिन्दु फैले हुए हो जाते हैं।

बहुमणिभीय[4] पृष्ठ से परावर्तन—जब एक इलेक्ट्रान दंड किसी बहुमणिभीय पृष्ठ पर आपाती होता है, तो जो विवर्तन प्रारूप अधिकतर बनता है, वह अविक्षेपित[5] धब्बे से सकेन्द्र वृत्ताकार वलयों[6] का बना होता है। इन वृत्तों का आधे से कुछ अधिक भाग पृष्ठ की प्रतिच्छाया में ढक जाता है, और फलत प्लेट पर प्रकट नहीं होता। इस प्रकार का प्रारूप पृष्ठ पर के छोटे उठानों के पार इलेक्ट्रान दंड के वेधन[7] से उत्पन्न होना चाहिए। प्रत्येक छोटा उठान एक क्रास-ग्रेटिंग प्रारूप उत्पन्न करेगा, और यदि मणिभ यदृच्छा से[8] वितरित हैं, तो फलित प्रारूप वह होगा जो समस्त संभव क्रास ग्रेटिंग प्रारूपों को केन्द्रीय धब्बे के प्रति घुमाने से उत्पन्न होगा। यथार्थ में, प्रारूप वही होगा जो परावर्तक पृष्ठ की ही रचना के एक पतले पटल के पार संचरण से उत्पन्न होगा, यद्यपि वृत्तों के कुछ भाग नमूने की प्रच्छाया द्वारा कटे हुए होंगे।

प्रेक्षित वलय प्रारूप[9] की एकमात्र अन्य व्याख्या यह हो सकती है कि इलेक्ट्रान दंड पृष्ठ की मणिभिकाओं के फलकों से परावर्तित होता है। यह सिद्धान्त प्रेक्षित वलयों की तीक्ष्णता[10] का समाधान नहीं कर सकता। मणिभिकाओं के छोटे आकार और वेधन के अभाव के कारण विवर्तन बंधनों[11] में काफी ढीलन होगा, और फलत वलय फैले-फैले होंगे। साथ ही मणिभिकाओं के आंतरिक विभव से एक वर्तनाक प्रभाव होगा, जिससे वलयों का आकार छोटा हो जायगा। सामान्यत ऐसा नहीं पाया जाता, यद्यपि कुछ सुविशिष्ट अवस्थाओं में वलयों का फैलना और साथ ही उनके आकार का घटना यह बताता है कि कभी-कभी यह दूसरी विधि क्रियाशील हो सकती है।

1. Space lattice 2. Section 3. Finite 4. Polycrystalline 5. Undeflected 6. Rings 7. Penetration 8. Randomly 9. Ring pattern 10. Sharpness 11. Conditions

दैशितता[1]—कई बार वलय अपनी सारी लम्बाई पर एकसमान तीव्रता के नहीं होते, प्रत्युत एक या अधिक तीव्र चापों[2] में बँटे होते हैं। वलयों का इस प्रकार चापों में बँटना नमूने के पृष्ठ के प्रति मणिभिकाओं की दैशिवता से उत्पन्न होता है। सर्वाधिक वार प्रेक्षित दैशितता वह है जिसमें मणिभों की सस्थिति ऐसी होती है कि उनका एक फलक परावर्तन पृष्ठ से सन्निकटतः समातर होता है।

हम विचार करेंगे कि एक सरल घनक मणिभों[3] के केस में, इस प्रकार दैशितता से क्या होता है, जब उनका एक घन फलक[4] नमूने के पृष्ठ के समांतर हो। प्रत्येक छोटी मणिभिका क्रास ग्रेटिंग का व्यवहार करेगी, इसलिए सटते कोण पर आपाती दंड के केस में, इस घन फलक के समातर जो तल हैं वे आपात तल में समान अतरणवाले धब्बों की एक श्रेणी उत्पन्न करेंगे, चाहे मणिभिका की दिगश[5] सस्थिति आपाती दड के प्रति कुछ भी हो। इस कारण से ये धब्बे प्रबल होते हैं। इसके विपरीत, (011) तलों से परावर्तन तभी हो सकता है जब घन की कोर[6] दंड से सन्निकटतः समांतर सस्थित हो। उस अवस्था मे इन तलों से जो समदूरस्थ धब्बे उत्पन्न होंगे वे प्रच्छाया कोर[7] से 45° कोण पर झुकी रेखाओं पर स्थित होंगे। धब्बों की ये ही पंक्तियाँ (101) (110) (0–11) (01–1) (–10–1) (10–1) (–110) और (1–10) तलों से भी उत्पन्न होंगी। दूसरे तल-संघातों पर विचार करके हम सरल घनक के अतिरिक्त अन्य अधिक जटिल रचना के मणिभ के लिए भी निर्णय कर सकेंगे कि किसी विशेष प्रकार की दैशिकता के लिए तत्सगत धब्बे कहाँ घटित होंगे। सामान्यत. दैशितता सम्पूर्ण नहीं होती है, इसलिए धब्बे चापों में बदल जाते हैं।

कुछ केसों में मणिभिकाएँ ऐसी दैशितता से सस्थित होती हैं कि न केवल एक तल-संघात पृष्ठ के समांतर होता है, प्रत्युत एक अक्ष भी पृष्ठ पर एक दिशा-विशेष में होता है। इस केस में नमूने को दंड के प्रति किसी एक दिशा में संस्थित करने से कुछ चाप प्रकट नही होते, और तब प्ररूप एचित एकाकी मणिभ के प्ररूप से समानता ग्रहण करने लगता है।

बहुधा यह पाया गया है कि वे वलय, जो चाप-भागों में बँटने की प्रवृत्ति नहीं दिखाते, प्रच्छाया कोर के निकट पहुँचने पर तीक्ष्ण हो जाते हैं। इसका समाधान इन छोटे उठानों द्वारा बनी क्रास ग्रेटिंग की विभेदकता[8] पर विचार करने से हो सकता

1. Orientation 2. Arcs 3. Cubic crystals 4. Cube face 5. Azimuth 6. Edge 7. Shadow edge 8. Resolving power

है। उठान का जो भाग दंड के पथ में आता है, उसकी ऊँचाई की अपेक्षा चौड़ाई संभवतः अधिक होती है। इसलिए इस ग्रेटिंग की विभेदकता प्रच्छाया कोर की दिशा में, उसके अभिलम्ब दिशा की अपेक्षा, अधिक होती है।

संदर्भ

क—F. Kirchner and H. Raether, *Phys. Zeit.*, 30, 510, 1932.

ख—H. Bethe, *Ann. de Phys.*, 87, 557, 1928.

ग—H. E. Farnsworth, *Phys. Rev.*, 40, 684, 1932; 43, 900, 1933.

घ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C R.*, *Tokio*, 18, 315, 1932.

ङ—J. R. Tillman, *Phil. Mag.*, 18, 656, 1934.

च—T. Yamaguti, *Proc. Math. Phys. Soc. Jap.*, 16, 95, 1934; 17, 58, 1935.

छ—W. E. Lasckarew, *Zeit Phys.*, 86, 697, 1933; 89, 820, 1934; *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.

ज—J. W. Harding, *Phil. Mag.*, 23, P271, 1937.

झ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C. R.*, *Tokio*, 20, 39, 1932

ञ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C. R.*, *Tokio*, 18, 223, 1932.

ट—A. G. Emslie, *Phys. Rev.*, 45, 43, 1934.

ठ—J. R. Tillman, *Phil. Mag.* 14, 485, 1935.

ड—G. I. Finch, A. G. Quarell and H. Wilman, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.

ढ—K. Shinohara, *Phys. Rev.*, 47, 732, 1935.

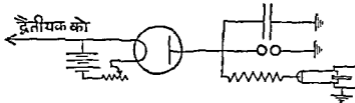
ण—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 133, 1, 1931.

त—L. H. Germer, *Phys. Rev.*, 44, 1012, 1933.

अध्याय ५

उपकरण और टेकनीक

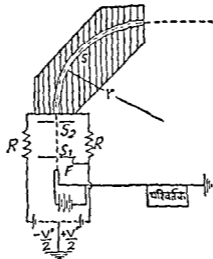
द्रुत इलेक्ट्रानों के विवर्तन में प्रयुक्त प्रारंभिक प्रकार के उपकरणों में से अनेक का विवरण दिया ही जा चुका है। इन प्रयोगों की मूल आवश्यकताएँ है—एकसमान[1] और अचर[2] वेग के इलेक्ट्रानों के एक दंड का उत्पादन, और एक निर्वातित प्रकोष्ठ[3] के भीतर नमूने को आवश्यकतानुसार चलाने तथा घुमाने के लिए व्यवस्था। आज कल प्रयुक्त उपकरणों के समस्त रूप सामान्य सिद्धान्त में उस विवर्तन कैमरे के समान हैं, जिसका प्रथम आयोजन टॉमसन और फ्रेजर[क] ने किया था, किन्तु बाद के वर्षों में उसमें अनेक प्रकार से उन्नति की गयी है।

एक समांगी इलेक्ट्रान दंड का उत्पादन—जी. पी. टॉमसन द्वारा प्रयुक्त उच्च-विभव[4] धारा-देही परिपथ[5] का उल्लेख हो ही चुका है। यह व्यवस्था आकृति ३२ में

आकृति ३२—जी. पी. टामसन का उच्च विभव स्रोत[6]।

दिखायी गयी है। एक परिभ्रामक पारद भजक[7] से काम करनेवाली प्रेरण कुंडली[8] के द्वैतीयिक[9] से प्राप्त धारा को एक ऋजुकारी[10] वाल्व पर लगाया जाता है। ऋजुकृत धारा को एक गैस विसर्ग नलिका के पार भेजा जाता है, जिसके भीतर का दाब एक क्षारित्र[11] द्वारा नियन्त्रित होता है। धारा को नली की श्रेणी[12] में 10^5 ओम की कोटि का

1. Uniform 2. Constant 3. Evacuated chamber 4. High potential 5. Current-supply circuit 6. H. T. Supply 7. Rotary mercury break 8. Induction coil 9. Secondary (noun) 10. Rectifying 11. Leak 12. Series

एक प्रतिरोध लगाकर समुचित मान तक सीमित किया जाता है, और नली के समान्तर लगभग ·01 माइक्रोफैरड धारिता[1] का एक संधारित्र[2] लगाकर साम्यित[3] किया जाता है। वोल्टता एक स्फुलिंग-गैप[4] द्वारा मापी जाती है, जो नली के समांतर लगता है। इस व्यवस्था से 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों का इतना समांगी दंड उत्पन्न किया जा सकता है कि उसे एक चुम्बकीय बल क्षेत्र द्वारा लगभग 10 डिग्री तक विक्षेपित[5] कराने में फैलाव के कोई चिह्न प्रकट नहीं होते। उच्च विभव उपकरण के इस रूप में अनेक असुविधाएँ हैं। अल्प वोल्टताओं पर विसर्ग में प्रवाहित धारा इतनी अधिक होती है कि संधारित्र उसे पर्याप्त साम्यित नहीं कर पाते। लगभग 50 किलोवोल्ट से ऊपर विसर्ग के कट जाने की प्रवृत्ति होती है। किन्तु वोल्टता के जिस परास में अधिकतम कार्य किया जाता है, उसके लिए इसने एक संतोषजनक दंड प्राप्त हो जाता है।

फिल्टर[6]—एक विषमांगी[7] इलेक्ट्रान दंड से किसी नियत ऊर्जा[8] के इलेक्ट्रानों को छाँटने की दो विधियों का वर्णन हो ही चुका है। गाइड ने विसर्ग नली को चलाने के

आकृति ३३—इलेक्ट्रानों का एक समांगी दंड उत्पन्न करने के लिए यामागुटी की व्यवस्था।

लिए एक प्रेरण-कुंडली[9] का उपयोग किया, और इलेक्ट्रानों की प्रारंभिक दिशा से

1. Capacity 2. Condenser 3. Smoothened 4. Spark gap 5. Deflect 6. Filters 7. Heterogeneous 8. Energy 9. Induction coil

अभिलम्बतः एक स्थिर-वैद्युत[1] विक्षेपक बल क्षेत्र[2] लगाकर एक समांगी दंड छाँट लिया। किकुची ने भी इलेक्ट्रानों का दंड उत्पन्न तो उसी प्रकार किया, किन्तु उसके एक अंग को छाँटने का कार्य एकसमान चुम्बकीय बल क्षेत्र में दंड को संचारित कराकर किया। बाद में यामागुटी[u] ने एक व्यवस्था काम में ली जो कुछ प्रकार से उपर्युक्त दोनों विधियों का समन्वय है। उनका उपकरण आकृति ३३ में बताया गया है। तप्त तंतु F से उत्पन्न इलेक्ट्रान प्लेट S_1 तथा S_2 के बीच के विभव-पात द्वारा त्वरित[3] होते हैं। यह विभव एक उच्च-विभव परिवर्तक[4] द्वारा स्थापित होता है। S_2 में बने छिद्र में से गुजरने के बाद इलेक्ट्रानों को धातु के दो गुटकों के बीच बनी एक सकड़ी नाली में से जाना होता है। यह नाली 2 मि. मी. चौड़ी होती है, और एकसमानता से 10 से. मी. त्रिज्या के वृत्तखंड में मुड़ी होती है। एक बैटरी द्वारा इन गुटकों के बीच V' वोल्ट का विभवांतर लगाया जाता है। मान लीजिए कि वक्र पथ में प्रवेश करनेवाले इलेक्ट्रानों की उर्जा V वोल्ट है। यदि वे पथ की वक्रता का अनुसरण करते हैं, तो उन पर त्रिज्यीय बल mv^2/r होगा, जिसमें m तथा v क्रमशः इलेक्ट्रान की संहति[5] तथा वेग हैं, और r पथकी वक्रता की त्रिज्या है। यह बल इलेक्ट्रान पर स्थिरवैद्युत बल क्षेत्र द्वारा लगनेवाले बल के बराबर होना चाहिए। यदि नाली की चौड़ाई s है, तो यह बल eV'/s है। अत.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{eV'}{s}$$

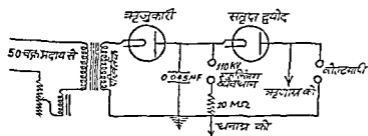
किन्तु
$$eV = \tfrac{1}{2}\, mv^2$$

इसलिए
$$V = \frac{rV'}{2s} = 25V'$$

इस प्रकार की व्यवस्था से चुने हुए इलेक्ट्रानों का वेग सरलता से परिणमित[6] किया जा सकता है, और उनकी वोल्टता तुरंत ज्ञात हो सकती है, क्योंकि वह धातु के गुटकों के बीच लगे विभव की अनुपाती है।

संतृप्त द्वयोद[7] का उपयोग—एक अत्यन्त दक्ष[8] रूप के उच्च विभव स्रोत का उपयोग फिंच[ग] ने किया है। उसका परिपथ आकृति ३४ मे दिखाया गया

1. Electrostatic 2. Deflecting field 3. Accelerated 4. Transformer
5. Mass 6. Vary 7. Saturated diode 8. Efficient

है। 120 किलोवोल्ट क्षमतावाले एक 50-चक्र[1] उच्च विभव परिवर्तक के द्वैतीयिक का एक सिरा धरतित[2] कर दिया जाता है, और प्राप्त धारा को एक द्वयोद द्वारा ऋजुकृत किया जाता है। ऋजुकृत धारा समुचित धारिता के एक सधारित्र को चार्ज करती है। इस सधारित्र की रक्षा एक स्फुलिंग-गैप व्यवधान से होती है, जिसके कारण एक नियत वोल्टता से अधिक आवेश स्फुलिंग के रूप में छलक जाता है। यह गैप 110 किलोवोल्ट के लिए समजित[3] किया होता है। विसर्ग नली में जानेवाली धारा एक 120 कि० वो० द्वयोद के पार प्रवाहित होती है, जिसे सतृप्ति की अवस्था में रखा जाता है। सधारित्र की धारिता इतनी पर्याप्त होती है कि निष्क्रिय अर्द्ध-चक्र के काल में वह द्वितीय वाल्व को सतृप्त रखने योग्य धारा देता रहे। इस प्रकार की अवस्था से विसर्ग में धारा पूर्णतः नियंत्रण में रहती है। वह सतृप्त द्वयोद के तंतु[4] की धारा पर ही निर्भर होती है। अतः यदि विसर्ग का प्रतिरोध अचर रखा जाय, तो नली के पार विभव-पात भी अचर रहेगा। यह संस्थान[5] इसी कोटि के अन्य संस्थानों की भाँति, विसर्ग नली के भीतर एक नियत अपरिवर्ती दाब स्थापित रखने पर आधारित होता है। ऐसा करने के लिए नली को लगातार निर्वातित किया जाता है, और साथ-साथ ही मन्द क्षरण[6] से वायु को भीतर आने दिया जाता है।

आकृति ३४—जी० आइ० फिंच का उच्च विभव स्रोत।

क्षारित्र[7] के अनेक रूप प्रचलित हैं। एक सकड़ी केशिका[8] द्वारा विसर्ग नली का सम्बन्ध एक निम्न-दाब प्रकोष्ठ से करने की विधि बहुत प्रचलित है, और उससे संतोषप्रद दाब नियंत्रण प्राप्त हो जाता है। निम्न-दाब प्रकोष्ठ का दाब बदलने से क्षरण की गति नियंत्रित हो सकती है। अन्यथा, केशिका के स्थान पर एक सुई-वाल्व लगा सकते हैं, जिसका सम्बन्ध या तो निम्न-दाब गैस प्रकोष्ठ से होता है, या कभी-

1. 50-cycle 2. Earthed 3. Adjust 4. Filament 5. System 6. Leakage 7. Leak 8. Capillary

कभी सीधे ही वायुमण्डल से। जब क्षारित्र का सम्बन्ध सीधा वायुमण्डल से होता है, तो वाल्व एक सुविशिष्ट बनावट का होना चाहिए, किन्तु जब निम्न-दाब प्रकोष्ठ काम में लिया जाता है तो कोई भी प्रचलित रूप का सुई-वाल्व पर्याप्ततः मंद क्षरण देने के लिए संतोषप्रद होता है।

तप्त ऋणाग्र[1] नलिका—यदि गैस विसर्ग नलिका के बजाय एक तप्त ऋणाग्र नलिका काम में ली जाय, तो उसके तन्तु में धारा के नियमण से नलिका की धारा का नियंत्रण हो सकता है, किन्तु समांगी इलेक्ट्रान दंड प्राप्त करने के लिए नलिका पर एक अचर वोल्टता स्थापित रखना होगा। जहाँ इस प्रकार का वोल्टता प्रदाय[2] उपलब्ध है, वहाँ विवर्तन प्रयोगों के लिए इलेक्ट्रान दंड प्राप्त करने के हेतु तप्त ऋणाग्र नलिका एक बहुत सुविधाप्रद साधन है।

चुम्बकीय संगमन[3]—इलेक्ट्रान विवर्तन कैमरा के उन्नत रूपों के वर्णन से पहले किसी इलेक्ट्रान दंड के चुम्बकीय संगमन पर विचार करना आवश्यक है। β-किरणों पर ह्यूजेज के कार्य के सम्बन्ध में उल्लेख किया ही जा चुका है कि किसी बिन्दु से अपविन्दुत[4] होते इलेक्ट्रान दंड को एक समुचित धारावाली कुंडली द्वारा संगमित किया जा सकता है। इलेक्ट्रान विवर्तन कार्य में इसके अनुप्रयोग का प्रथम सुझाव लेब्रेडेव[4] ने दिया था।

1926 में बुश[5] ने किसी इलेक्ट्रान के पथ पर एक छोटे और त्रिज्यीय सममिति[5] वाले चुम्बकीय बलक्षेत्र के प्रभाव की गणना की। इसके गणितीय रूप पर विचार करने से पहले इस पर भौतिकीय दृष्टि से देखें। यह सुविदित है कि एक चुम्बकीय क्षेत्र से लम्ब दिशा में चलता इलेक्ट्रान इन दोनों दिशाओं से लम्ब दिशा में एक बल का अनुभव करता है। यदि एक गतिशील इलेक्ट्रान ऐसे चुम्बकीय बलक्षेत्र में प्रवेश करे जिसमें इलेक्ट्रान के चलने की दिशा में सममिति का एक अक्ष है, तो चुम्बकीय बलक्षेत्र के त्रिज्यीय घटक[6] के कारण इलेक्ट्रान इस अक्ष के चारों ओर एक सर्पिल[7] पथ पर चलेगा। साथ ही इलेक्ट्रान का प्रारंभिक पथ अक्ष से झुका होगा, तो इस गति के त्रिज्यीय घटक पर चुम्बकीय बलक्षेत्र के अक्षीय घटक के प्रभाव से इलेक्ट्रान का पथ अक्ष से निकटतर आता जायेगा।

1. Hot cathode 2. Source 3. Focussing 4. Diverge 5. Radial symmetry 6. Radial component

युग की गणना इन्ही विचारों पर आधारित थी। यहाँ हम उसकी सार्व विधि का मार्टिन द्वारा दिया गया स्वरूप देंगे, जो केवल परागक्षीय[1] किरणों के लिए ही लागू होता है। एक बल-क्षेत्र की कल्पना कीजिए जिसमें किसी एक विन्दु पर बेलनाकार निर्देशांकों[2] r, ϕ और z के तत्सगत घटक[3] H_r , H_ϕ और H_z हैं। यदि इस स्थान में चुम्बकीय पदार्थ नहीं हैं, तो लाप्लास के समीकरण से

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r H_r) + \frac{1}{r}\frac{\partial H_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

यदि बल-क्षेत्र z अक्ष के प्रति सममित है, तो $\frac{\partial H_\phi}{\partial \phi} = 0$, अत.

$$\frac{\partial}{\partial r}(r H_r) = -r\frac{\partial H_z}{\partial z}$$

r के प्रति अनुकलन[4] से हम देखते हैं कि त्रिज्या r पर त्रिज्यीय घटक होगा

$$H_r = -\frac{r}{2}\frac{\partial H_z}{\partial z}, \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

यदि r के छोटे परास पर $\frac{\partial H_z}{\partial z}$ को अचर मान लें।

अक्ष के पास के किसी बिन्दु के लिए

$$H_r = -\frac{r}{2}\cdot\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)_0 \ldots\ldots$$

जिसमें $\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)_0$ अक्ष पर $\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)$ का मान है।

यदि ऐसे बल-क्षेत्रमे हम एक इलेक्ट्रान को एक पराअक्षीय पथ पर वेग v से प्रवेश करता मानें,तो वह बल-क्षेत्रके त्रिज्यीय घटक H_r के कारण स्पर्शीय[5] बल $H_r\, e v_z$ का अनुभव करेगा। मान लीजिए कि जिस दिशा ϕ में यह बल लगता है, उसे हम धनात्मक मानते हैं, तो

$$m r \ddot{\phi} = H_r\, e v_z = -\frac{r}{2}\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)_0 \cdot e v_z\,,$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{1}{2}\frac{e}{m}\cdot\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)_0 \frac{dz}{dt}$$

1. Paraxial 2. Cylindrical co-ordinates 3. Components 4. Integration 5. Tangential

इसके अनुकलन से हमें प्राप्त होता है—

$$\dot{\phi} = \frac{1}{2}\,\frac{e}{m}\int_{-\infty}^{+\infty}\left(\frac{\partial H_z}{\partial z}\right)_o\cdot\frac{dz}{dt}\cdot dt = -\frac{1}{2}\,\frac{e}{m}.\ H_z,\ \ldots\ldots(3)$$

जिसमें बल-क्षेत्र शून्य से बढ़ता माना गया है। इस प्रकार किसी भी बिन्दु z पर कोणीय वेग केवल उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र के मान पर निर्भर होता है। इसके कारण जो अनुप्रस्थ[1] वेग होगा उसका मान है

$$v_{\phi} = r\dot{\phi},$$

यह अनुप्रस्थ वेग बल-क्षेत्र के अक्षीय घटक से अभिलम्बतः होता है, अतः एक त्रिज्यीय बल उत्पन्न होता है, जिसका मान $H_z e v_{\phi}$ है। अपकेन्द्रीय[2] बल $mv^2{}_{\phi}/r$ को गिनते हुए, कुल त्रिज्यीय त्वरण[3] होगा

$$\ddot{r} = \frac{H_z e r\dot{\phi}}{m} + r\dot{\phi}^2,$$

$$= \frac{H_z e r}{m}\left(-\frac{1}{2}\,\frac{e}{m}H_z\right) + \frac{r}{4}\left(\frac{e}{m}\right)^2 H_z^2$$

$$= -\frac{r}{4}H_z^2\left(\frac{e}{m}\right)^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

यदि हम मान लें कि बल-क्षेत्र को पार करने में r मूलतः अपरिवर्तित रहता है, तो अनुकलन से

$$\dot{r} - \dot{r}_o = -\frac{r}{4}\left(\frac{e}{m}\right)^2\int_{-\infty}^{z} H_z^2.\ \frac{dt}{dz}.\ dz$$

या, सारे लैंस के लिए,

$$\dot{r} - \dot{r}_o = -\frac{r}{4}\left(\frac{e}{m}\right)^2\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{H_z^2}{V_z}.\ dt \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

1. Transverse 2. Centrifugal 3. Acceleration

यदि आपाती इलेक्ट्रान दंड अक्ष से कोण α बनाता है, और निर्गत[1] दंड α' तो प्रकाशिकी[2] में प्रयुक्त सामान्य चिह्न-प्रणाली को अपनाते हुए—

$$r_o = v\,\alpha,$$
$$\dot{r} = v'\,\alpha'$$

$$\therefore v'\alpha' - v\alpha = \frac{r}{4}\left(\frac{e}{m}\right)^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_z^2}{v_z}\, dz$$

सन्निकटीकरण की आवश्यक कोटि तक $v = v_z = v'$ अतः

$$\alpha' - \alpha = \frac{r}{8}\,\frac{e}{m}\cdot\frac{1}{V}\int_{-\infty}^{+\infty} H_z^2\, dz, \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6)$$

जिसमें V आपाती इलेक्ट्रान की वोल्टता है।

उपर्युक्त कोणीय विचलन देनेवाले चुम्बकीय लैंस का फोकस-अंतर, प्रकाशीय सम्बन्ध के समान ही, इस समीकरण से प्राप्त होगा—

$$\frac{1}{f'} = \frac{\alpha' - \alpha}{r} = \frac{1}{8}\,\frac{e}{m}\,\frac{1}{V}\int_{-\infty}^{\infty} H_z^2\, dz \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7)$$

इस लैंस से उत्पन्न प्रतिबिम्ब वस्तु की तुलना में घूमा हुआ होगा। यह बिम्ब कितना कोण ϕ घूमा हुआ होगा, यह तुरत प्राप्त हो सकता है, क्योंकि समीकरण (3) से

$$\dot{\phi} = \frac{1}{2}\left(\frac{e}{m}\right) H_z$$

$$\therefore \phi = \frac{1}{2}\,\frac{e}{m}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_z}{v_z}\cdot dz$$

इलेक्ट्रान विवर्तन की दृष्टि से बिम्ब का घूमा हुआ होना कोई महत्त्व नहीं रखता, क्योंकि चुम्बकीय लैंस का उपयोग एक छोटे वृत्ताकार द्वारक[3] से प्राप्त एक सकड़े इलेक्ट्रान दंड को संगमित[4] करने में ही होता है।

1. Emergent 2. Optics 3. Aperture 4. Focus

फिंच रूप का केमरा—इलेक्ट्रान विवर्तन केमरे का एक रूप जिसमें बहुत यथार्थता के फल देने की क्षमता है, फिंच ने आविष्कृत किया और व्यापक उपयोग में लिया है। इसके साथ प्रयुक्त उच्च-विभव स्रोत का विवरण दिया जा चुका है। केमरा का सार्वत्रिक रूप आकृति ३५ में दिखाया गया है। इसके चार खण्ड हैं—विसर्गनली, समांतरक खण्ड, नमूना खण्ड और केमरा खण्ड। विसर्ग नली एक शीशी है, जिसका पेंदा काट दिया गया है, और फिर गर्दन तथा पेंदे के द्वारकों[1] को चपटा और नली के अक्ष से लम्बत: घर्षित[2] कर लिया गया है। इस नली को एक पीतल के गुटके[3] में बनी खाँच[4] में बिठा कर पाइसीन[5] मोम से मुद्रित[6] कर दिया जाता है। गुटके का निचला पृष्ठ चपटा घिसा होता है, ताकि धनाग्र[7] गुटके के ऊपरी चपटे पृष्ठ पर रखने और बीच में समुचित ग्रीज लगाने से एक निर्वात-संमुद्रित[8] जोड़ बन जाता है। ऋणाग्र एक मोटी पालिश की हुई अल्मीनियम की छड़ होती है जो ऊपरी सिरे

आकृति ३५—फिंच रूप का केमरा।

पर पीतल के गुटके में पेच द्वारा कस दी जाती है। नलिका को नल उपकरण के केमरा की ओर लगे पम्प-मार्ग के भीतर जिसके कारण पम्प से पारद वाष्प केमरा में विसरित[1] नहीं हो में दाब का नियंत्रण एक बारीक ... से गैस के क्षरण[1] केशिका एक अंशत: निर्वातित ... सम्बन्धित ह

है

विसर्ग नलिका से ऋणाग्र ... दंड

सफाई पीतल की नली के पार ... का

1. Apertures 2. Grind ... Pic

8. Vacuum-tight 9. D

जिसमें 0 1 मि० मी० व्यास का एक छेद किया होता है। धनाग्र गुटके का ऊपरी सिरा थोडा झुका रखने से विसर्ग नली का अक्ष उपकरण के नीचे लगे स्फुरदीप्त[1] पर्दे से परे एक कोने पर पड़ता है। थोडा अपसृत[2] यह इलेक्ट्रान दड चुम्बकीय लैंस द्वारा सगमित किया जाता है, और कुडलियां को थोडा-सा झुकाकर विक्षेपित[3] भी किया जाता है, ताकि पीतल की नली के छिद्र का प्रतिबिम्ब पर्दे पर समुचित स्थान पर बने। सगमन क्रिया के सम्बन्ध मे यह उल्लेख कर देना उचित है कि, प्रकाश किरणों की भाँति ही, आवर्धन[4] यहाँ भी V/U होता है, जिसमे U तथा V वस्तु तथा बिम्ब दूरियाँ हैं। जिस विशेष केमरे का विवरण दिया जा रहा है उसमे पर्दे पर बने बिम्ब का व्यास 0 2 मि० मी० होता है।

चुम्बकीय लैंस की विभेदपूर्ण[5] क्रिया और विक्षेप के कारण, मन्दतर इलेक्ट्रान प्रतिबिम्ब से लगी एक पूँछ बनाते हैं। इसे नमूने के ठीक ऊपर एक समुचित रोक लगाकर काटा जा सकता है। विसर्ग नली से प्राप्त अन्य किरणे, अर्थात् प्रकाश किरणे तथा ऋणायन, पर्दे पर नही टकराते, क्योंकि प्रकाश किरणे तो कुडलियों से विक्षेपित नही होती, और ऋणायन बहुत कम विक्षेपित हो पाते हैं। इस प्रकार ये किरणे आलेख मे नही आती।

नमूना-वाहक[6] आकृति ३६ मे पूर्णत दिखाया गया है। यह नमूना-प्रकोष्ठ के चार द्वारों में से किसी मे भी काम मे लिया जा सकता है। सारे नमूना-प्रकोष्ठ को उलटने से केमरा की प्रभावकारी लम्बाई आधी की जा सकती है। फिंच के केमरे में यह लगभग 25 सें० मी० हो जाती हैं। नमूना-वाहक मे नमूने को चार स्वतत्र गतियाँ उपलब्ध होती हैं। आकृति ३६ की बाईं ओर दिखाये गये दो नियत्रक सिरों से नमूने को इलेक्ट्रान दड के बाहर-भीतर खिसकाया तथा अपने ही तल में घुमाया जा सकता है। दंड के अक्ष मे इधर-उधर घुमाने तथा दड के प्रति कोण बदलने का काम नियोजक[7] पेंचो द्वारा नम्य[8] धौंकनियों के समुचित सकोचन से होता है।

तुलनाकारी शटर[9]—केमरा के आलेखी[10] खण्ड मे एक खोखला घनाकार काँसे का वर्त्तन होता है जो नमूना-प्रकोष्ठ के निचले सिरे से एक घर्षित जोड द्वारा फिट किया होता है। इस वर्त्तन की एक दीवार पर पेंदे के पास एक घर्षित पृष्ठवाला आयताकार

1. Fluorescents 2. Divergent 3. Deflect 4. Magnification 5. Biassing 6. Specimen carrier 7. Adjusting 8. Flexible 9. The comparison shutter 10. Recording

फिंच रूप का केमरा—इलेक्ट्रान विवर्तन केमरे का एक रूप जिसमें बहुत यथार्थता के फल देने की क्षमता है, फिंच ने आविष्कृत किया और व्यापक उपयोग में लिया है। इसके साथ प्रयुक्त उच्च-विभव स्रोत का विवरण दिया जा चुका है। केमरा का सार्वत्रिक रूप आकृति ३५ में दिखाया गया है। इसके चार खण्ड हैं—विसर्गनली, समांतरक खण्ड, नमूना खण्ड और केमरा खण्ड। विसर्ग नली एक शीशी है, जिसका पेंदा काट दिया गया है, और फिर गर्दन तथा पेंदे के द्वारकों[1] को चपटा और नली के अक्ष से लम्बत: घर्षित[2] कर लिया गया है। इस नली को एक पीतल के गुटके[3] में बनी खाँच[4] में बिठा कर पाइसीन[5] मोम से मुद्रित[6] कर दिया जाता है। गुटके का निचला पृष्ठ चपटा घिसा होता है, ताकि धनाग्र[7] गुटके के ऊपरी चपटे पृष्ठ पर रखने और बीच में समुचित ग्रीज लगाने से एक निर्वात-संमुद्रित[8] जोड़ बन जाता है। ऋणाग्र एक मोटी पालिश की हुई अल्मीनियम की छड़ होती है जो ऊपरी सिरे

आकृति ३५—फिंच रूप का केमरा।

पर पीतल के गुटके में पेच द्वारा कस दी जाती है। नलिका को निर्वातित करनेवाला नत उपकरण के केमरा की ओर लगे पम्प-मार्ग के भीतर काफी दूर तक जाता है जिसके कारण पम्प से पारद वाष्प केमरा में विसरित[9] नहीं हो पाती। ऋणाग्र कोष्ठ में दाब का नियन्त्रण एक बारीक केशिका[10] से गैस के क्षरण[11] द्वारा होता है। यह केशिका एक अंशतः निर्वातित गैस प्रकोष्ठ से सम्बन्धित होती है।

विसर्ग नलिका से ऋणाग्र किरणों का एक पतला दंड धनाग्र गुटके में लगी एक सकरी पीतल की नली के पार गुजरता है। इस नली का ऊपरी सिरा ठोस होता है,

1. Apertures 2. Grind 3. Block 4. Grove 5. Picien 6. Seal 7. Anode 8. Vacuum-tight 9. Diffuse 10. Capillary 11. Leakage

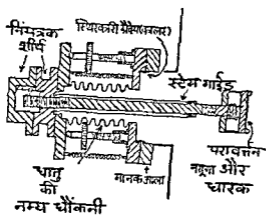
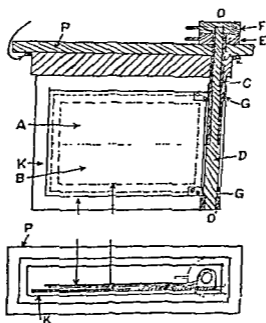
जिसमें 0.1 मि० मी० व्यास का एक छेद किया होता है। घनाग्र गुटके का ऊपरी सिरा थोड़ा झुका रखने से विसर्ग नली का अक्ष उपकरण के नीचे लगे स्फुरदीप्त[1] पर्दे से परे एक कोने पर पड़ता है। थोड़ा अपसृत[2] यह इलेक्ट्रान दंड चुम्बकीय लैंस द्वारा संगमित किया जाता है, और कुंडलियों को थोड़ा-सा झुकाकर विक्षेपित[3] भी किया जाता है, ताकि पीतल की नली के छिद्र का प्रतिबिम्ब पर्दे पर समुचित स्थान पर बने। संगमन क्रिया के सम्बन्ध में यह उल्लेख कर देना उचित है कि, प्रकाश किरणों की भाँति ही, आवर्धन[4] यहाँ भी V/U होता है, जिसमें U तथा V वस्तु तथा बिम्ब दूरियाँ हैं। जिस विशेष कैमरे का विवरण दिया जा रहा है उसमें पर्दे पर बने बिम्ब का व्यास 0.2 मि० मी० होता है।

चुम्बकीय लैंस की विभेदपूर्ण[5] क्रिया और विक्षेप के कारण, मन्दतर इलेक्ट्रान प्रतिबिम्ब से लगी एक पूंछ बनाते हैं। इसे नमूने के ठीक ऊपर एक समुचित रोक लगाकर काटा जा सकता है। विसर्ग नली से प्राप्त अन्य किरणें, अर्थात् प्रकाश किरणें तथा ऋणायन, पर्दे पर नहीं टकराते, क्योंकि प्रकाश किरणें तो कुंडलियों से विक्षेपित नहीं होती, और ऋणायन बहुत कम विक्षेपित हो पाते हैं। इस प्रकार ये किरणें आलेख में नहीं आतीं।

नमूना-वाहक[6] आकृति ३६ में पूर्णत दिखाया गया है। यह नमूना-प्रकोष्ठ के चार द्वारों में से किसी में भी काम में लिया जा सकता है। सारे नमूना-प्रकोष्ठ को उलटने से कैमरा की प्रभावकारी लम्बाई आधी की जा सकती है। फिच के कैमरे में यह लगभग 25 सें० मी० हो जाती है। नमूना-वाहक में नमूने को चार स्वतंत्र गतियाँ उपलब्ध होती हैं। आकृति ३६ की बाईं ओर दिखाये गये दो नियंत्रक सिरों से नमूने को इलेक्ट्रान दंड के बाहर-भीतर खिसकाया तथा अपने ही तल में घुमाया जा सकता है। दंड के अक्ष से इधर-उधर घुमाने तथा दंड के प्रति कोण बदलने का काम नियोजक[7] पेचों द्वारा नम्य[8] धौंकनियों के समुचित संकोचन से होता है।

तुलनाकारी शटर[9]—कैमरा के आलेखी[10] खण्ड में एक खोखला घनाकार काँसे का बर्तन होता है जो नमूना-प्रकोष्ठ के निचले सिरे से एक घर्षित जोड़ द्वारा फिट किया होता है। इस बर्तन की एक दीवार पर पेंदे के पास एक घर्षित पृष्ठवाला आयताकार

1. Fluorescents 2. Divergent 3. Deflect 4. Magnification 5. Biassing 6. Specimen carrier 7. Adjusting 8. Flexible 9. The comparison shutter 10. Recording

आला होता है, जिसे एक विगैसित[1] रवड़ वलय[2] लगी एक पीतल की पट्टिका लगाकर निर्वात संमुद्रित बन्द किया जा सकता है। इस पीतल पट्टिका के भीतर की ओर प्लेट-धारक और एक विशेष प्रकार की शटर-योजना लगायी जाती है, जिसे आकृति ३७ में विस्तार से दिखाया गया है। फोटोग्राफी प्लेट पीतल की फ्रेम K में बने एक उथले साँचे[3] में लगायी जाती है, और उसके ठीक ऊपर ही शटर है, जो एक अक्ष OO' पर घूम सकती है। शटर दो भाग A तथा B में विभक्त है, जिनमें से किसी एक

आकृति ३६—नमूना-वाहक।

आकृति ३७—तुलनाकारी शटर, क्षैतिज और ऊर्ध्व काट में।

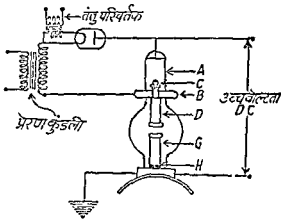
1. Degassed 2. Ring 3. Shallow recess

को या दोनो को नियंत्रक सिरों F तथा E द्वारा उठाया जा सकता है। शटर के दोनों अर्द्ध भागों को एक स्फुरदीप्त पर्दा ढँके रहता है। यह पर्दा $00'$ से ढीला चूलित[1] होता है, ताकि A या B में से किसी एक के साथ यह उठ जाता है।

इस तुलनाकारी शटर से एक प्लेट पर दो चित्र लिये जा सकते हैं, एक परीक्षणीय नमूने से और एक ज्ञात रचना के मानक[2] नमूने से। इन दोनों नमूनों को एक ही नमूना-ग्राहक पर लगाया जा सकता और बारी-बारी से दंड के पथ में लाया जा सकता है। इस प्रकार प्रयुक्त इलेक्ट्रानों का तरंग-दैर्घ्य 25 प्रतिशत की यथार्थता से निर्धारित हो सकता है।

जिस कार्य में कम यथार्थता के माप अपेक्षित हों, उसमें इस उपकरण का एक छोटा तथा कुछ परिवर्तित रूप काम में आता है। अन्तर मूलत इसमें है कि तुलनाकारी शटर नहीं होता, और वोल्टता स्फुलिंग-दूरी[3] में मापी जाती है।

दोहरा त्वरण[4] वाला उपकरण—१९३५ में जी० पी० टॉमसन[ञ] ने एक उपकरण आविष्कृत किया जो विवर्तन प्रयोगों में सामान्यत काम आनेवाली वोल्टताओं से कुछ अधिक वोल्टताओं के लिए काम आता है। साधारण गैस विसर्ग[5] ८० किलोवोल्ट से अधिक वोल्टता पर कट जाता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए उसने इलेक्ट्रानों को दोहरा त्वरण दिया।

उपकरण का कैमरा खण्ड वही टॉमसन-फ्रेजर रूप का है, जिसका पहले विवरण

आकृति ३८—दोहरा त्वरणवाला उपकरण।
(आकृति में उच्चवोल्टता के स्थान में उच्चवोल्टीय पढ़िए)

1. Pivoted 2. Standard 3. Spark gap 4. Double acceleration
5. Discharge

दिया जा चुका है, किन्तु विसर्ग नली के स्थान पर आकृति ३८ में प्रदर्शित व्यवस्था लगायी जाती है। ऊपरी नलिका A में एक विसर्ग चलाया जाता है, और दाब एक सामान्य रूप के क्षारित्र[1] से ऐसा नियमित रखा जाता है कि नलिका के पार 1000 वोल्ट की कोटि का विभवान्तर रहे। इस विसर्ग के लिए धारा एक प्रेरण-कुंडली[2] से ली जाती है, और एक वाल्व द्वारा ऋजु[3] की जाती है। कैथोड किरणों का एक बारीक पुंज शक्वाकार धनाग्र[4] के बीच बने छोटे छिद्र C से निकलता है, और फिर एक ताँबे की नली D से गुजरता है। धनाग्र एक वायु-शीतलित ताम्र-पिंड B पर लगा होता है। ताम्र नलियां D और G के बीच एक उच्च विभवान्तर समुचित उच्च विभव प्रदाय[5] द्वारा स्थापित किया जाता है। क्योंकि समकारी[6] धारित्रों[7] से ली जानेवाली धारा छिद्र C में से गुजरते सकड़े इलेक्ट्रान दड में निहित धारा तक ही सीमित है, इसलिए बहुत ही अचर वोल्टता स्थापित रखी जा सकती है। नमूनेवाले प्रकोष्ठ में अंतत प्रवेश करनेवाला इलेक्ट्रान दड ०.२ मि० मी० व्यास के एक दूसरे छिद्र H से परिसीमित होता है। गुटका B उच्च विभव पर है, इसलिए विसर्ग नली को निर्वातित करनेवाले पम्प को पृथक्कृत[8] करना आवश्यक है। इसके लिए पम्प को पृथक्कारी स्तम्भों पर लगाया जाता है, और पम्प तथा उसे चलानेवाली मोटर के बीच एक लम्बा चमडे का पट्टा काम में लिया जाता है।

सामान्य विचार—यहाँ यह न संभव है, न उचित ही, कि इस समय काम लिये जानेवाले सभी विभिन्न केमरो का वर्णन दिया जाय। जिनका वर्णन दिया गया है वे प्रतिनिधि रूप है, और सब सामान्य योजनाओं का उनमें समावेश हो गया है। फिर भी फलो की यथार्थता पर तथा कार्य की शीघ्रता में किन-किन बातो का प्रभाव पडता है, इस विषय में कुछ सामान्य चर्चा लाभप्रद होगी।

इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा लैटिस अंतरणो[9] के मापन में दोष के प्रमुख कारण ये है—

(क) वोल्टता के मापन में अनिश्चितता।

(ख) केमरा की प्रभावकारी लम्बाई (अर्थात् नमूने से प्लेट तक की दूरी) में अनिश्चितता।

(ग) प्ररूप[10] के धब्बों तथा वलयो[11] में तीक्ष्णता का अभाव।

1. Leak 2. Induction coil 3. Rectify 4. Conical anode 5. H. T. Supply 6. *Smoothening* 7. *Condensers* 8. Insulate 9. Lattice spacings 10. Pattern 11. Rings

इनमे से पहली कठिनाई का निवारण इलेक्ट्रानों को छानने[1] की कोई युक्ति (जिनमे से कुछ का वर्णन दिया जा चुका है) काम में लेने से या तुलनाकारी शटर से हो सकता है।

प्लेट या पर्दे से नमूना-वाहक[2] के किसी नियत बिन्दु की दूरी किसी ज्ञात रचना के पटल[3] के सचरण प्ररूप[4] की एक शृखला लेकर बहुत यथार्थता से निर्धारित की जा सकती है। इलेक्ट्रानों की वोल्टता ज्ञात होने पर पटल से प्लेट तक की दूरी की गणना एकदम सीधा काम है। कोई परावर्तन नमूना ले तो एक कठिनाई आती है। इन नमूनों में सामान्यतः दंड की दिशा मे लगभग १ से० मी० लम्बाई होती है, और दड इस पृष्ठ के किसी भी भाग पर आपाती हो सकता है। छोटे नमूने काम में लेने से इस कठिनाई से उत्पन्न दोष कम किये जा सकते है, किन्तु ऐसा सदैव सुविधाप्रद नहीं होता। दूसरा उपाय यह है कि एक विधि, जो सर्वप्रथम एक्स-किरणों के लिए प्रयुक्त हुई थी, काम में ली जाय। मणिभ के पृष्ठ पर, दड से अभिलम्बत, एक असिकोर[5] समजित[6] किया जाय, और समुचित व्यवस्था से इस असिकोर और नमूने के बीच की दूरी ०.०२ मि० मी० के लगभग तक घटा दी जाय। अल्प सटते कोण, जो काम मे लिये जाते है, उनके लिए इस व्यवस्था से नमूने की प्रभावकारी लम्बाई लगभग २ मि० मी० हो जाती है।

यथार्थता के अभाव का तीसरा कारण, विभेदकता[7] की न्यूनता, स्वय नमूने के ही कारण हो सकती है। किन्तु दड मे समागिता[8] के अभाव या तीक्ष्णता के अभाव से भी यह दोष हो सकता है। दड को समागी बनाने के उपाय का वर्णन पहले किया जा चुका है। तीक्ष्ण प्ररूप उत्पन्न करने के लिए प्रमुख दड द्वारा उत्पन्न धब्बा छोटा तथा सुपरिसीमित[9] होना चाहिए। ऐसे दंड उत्पन्न करने के लिए धनाग्र छिद्र-द्वय छोटे और बहुत दूरस्थ होने चाहिए। अधिक सतोषजनक उपाय सभवत यह है कि एक ही छोटे धनाग्र छिद्र के साथ एक सगमकारी कुडली[10] काम में ली जाय। धनाग्र छिद्र से कुडली की दूरी तथा कुंडली से प्लेट की दूरी को समुचित रूप से समजित करके आवर्धन[11] बहुत कम किया जा सकता है। इस सम्बन्ध में यह कहना आवश्यक है कि नमूना सदा कुडली के बाद तथा उसके चुम्बकीय बल-क्षेत्र से बाहर रखा जाना चाहिए, अन्यथा प्ररूप में विकृति आ जायगी या उसका पूर्णतः लोप हो जायगा।

1. Filtering 2. Specimen carrier 3. Film 4. Transmission patterns 5. Knife-edge 6. Adjust 7. Resolving power 8. Homogenity 9. Well defined 10. Focussing coil 11. Magnification

कार्य की शीघ्रता—दंडों की सामान्य तीव्रता से, अनेकानेक भिन्न प्रकार के नमूनों में से किसी का विवर्तन चित्र प्राप्त करने के लिए प्रकाशनकरण या काल[1] एक सेकंड के अल्पांश से लगाकर दो या तीन सेकण्ड तक होता है। किन्तु प्रकाशनकरण से पहले कैमरे को निर्वातित[2] करना आवश्यक होता है और इस क्रिया में कहीं अधिक समय लगता है (उपकरण के रूप के अनुसार १० मिनट से ४० मिनट तक)। अतः शीघ्रता से फोटोग्राफ लेना मूलतः निर्वातन टेक्नीक पर निर्भर होता है। स्पष्टतः उच्च वेग पम्पों के उपयोग से लाभ होगा, किन्तु दूसरा उपाय ऐसी युक्तियों से काम लेने का है जिनसे एक बार उपकरण को निर्वातित करने पर अनेक प्लेटें ली जा सकें। जहाँ ऐसा करना होता है, सामान्यतः उपकरण के भीतर ही एक बेलन[3] पर अनेक प्लेटें चढ़ा दी जाती हैं, और बारी-बारी से ठीक स्थिति पर लायी जाती हैं। इस युक्ति के पूर्ण लाभ के लिए आवश्यक है कि नमूना-वाहक भी ऐसा हो कि उसमें अनेक नमूने लग सकें, और बारी-बारी से दंड के पथ में लाये जा सकें।

मंद इलेक्ट्रानों से काम के लिए उपकरण—टेकनिकल कठिनाइयों के कारण तथा मंद इलेक्ट्रानों से संबंधित सिद्धान्त की असंतोषजनक अवस्था के कारण, उनका उपयोग व्यावहारिक अनुसंधान के साधन के रूप में बहुत कम हुआ है। सामान्यतः प्रयुक्त उपकरण सिद्धान्ततः वही होता है जिसे डेविसन और जर्मर ने काम में लिया था। दंड एक तप्त तंतु से प्राप्त इलेक्ट्रान धारा के त्वरण[4] से उत्पन्न किया जाता है, और विवर्तन प्ररूप का अध्ययन एक धारामापी या विद्युन्मापी[5] से सम्बद्ध फैराडे-बेलन संग्राही[6] से होता है। इलेक्ट्रानों की मंद गति के कारण, तथा नमूने को दूषित होने से सर्वथा रक्षित करने की आवश्यकता के कारण, यह आवश्यक है कि सर्वोच्च संभव निर्वात अवस्थाएँ रखी जायँ। इसके लिए सारे उपकरण को एक संमुद्रित[7] बर्त्तन में बंद रखना होता है, और सब समजन[8] बाहर से करने होते हैं, चाहे चुम्बकीय विधि से, या सारे वर्त्तन को झुकाकर। स्पष्ट है कि यदि सिद्धान्त सरल भी होता, तो भी कार्यान्वित करने में यह विधि काफी कठिन है।

उपकरण का एक रूप एहरेनबर्ग[34] ने आयोजित किया है जिससे मंद इलेक्ट्रानों से प्रेक्षण[9] संबंधी कठिनाइयाँ काफी कम हो जाती हैं। इसमें वैद्युत परिचायन[10] विधि के बजाय स्फुरदीप्त[11] पर्दे पर प्ररूप को देखने की व्यवस्था है। इलेक्ट्रान दंड सामान्य

1. Exposure time 2. Evacuate 3. Cylinder 4. Accerlation 5. Electrometer 6. Faraday-Cylinder Collector 7. Sealed 8. Adjustments 9. Observation 10. Detection 11. Fluorescent

रूप की बन्दूक[1] द्वारा उत्पन्न किया जाता है, और नमूने पर एक परिवर्ती कोण से टकराता है। धातु के दो बेलनाकार तनुपट[2] समअक्षीय लगे होते हैं, जिनका अक्ष मणिभ के पृष्ठ पर आपाती इलेक्ट्रान दंड से अभिलम्ब होता है। इन बेलनों में आपाती तल में दो दीर्घछिद्र[3] कटे होते हैं। बेलनों के बाहर, उनसे समअक्षीय ही, स्फुरदीप्त पर्दा होता है, जो एक जाली पर लगे किसी लचीले[4] पदार्थ का बना होता है। पहले दो बेलनों के दीर्घछिद्रों पर जाली लगी होती है, और उनके बीच, लगभग प्रारंभिक वोल्टता के बराबर ही, एक अवमदक विभव[5] लगाया जाता है। अवमदक विभव उन इलेक्ट्रानों को रोक लेता है जो अप्रत्यास्थी[6] टक्करों से कुछ ऊर्जा[7] खो चुके हों। बाहरी तनुपट और पर्दे के बीच एक उच्च त्वारक[8] विभव लगाया जाता है, ताकि इलेक्ट्रान स्फुरदीप्ति उत्पन्न करने योग्य वेग प्राप्त कर ले। आपाती तल में विवर्तित दंड विकृत नहीं होते, क्योंकि सभी बल-क्षेत्र त्रिज्यीय[9] हैं। इस तल के दंडों का ही प्रेक्षण किया जाता है। इस प्रकार के उपकरण से मंद इलेक्ट्रानों के विवर्तन सम्बन्धी हमारे ज्ञान में सवेग वृद्धि होगी।

संदर्भ

क—G. P. Thomson and C. G. Fraser, *Proc. Roy. Soc.*, 128, 641, 1930.

ख—T. Yamaguti, *Proc. Phys. Math. Soc. Jap.*, 16, 95, 1934.

ग—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc. Roy. Soc.*, 141, 398, 1933.

घ—A. A. Lebedeff, *Nature*, Sept. 1931.

ङ—Busch, *Ann. de Phys.*, 81, 974, 1926.

च—L. C. Martin, *Journ. Telev. Soc.*, 1, 377, 1934.

छ—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc. Phys. Soc.*, 46, 148, 1934.

ज—G. P. Thomson, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.

झ—W. Ehrenberg, *Phil. Mag.*, 18, 878, 1934.

1. Gun 2. Diaphragms 3. Slits 4. Flexible 5. Retarding potential 6 Inelastic 7. Energy 8. Accelerating 9. Radial

अध्याय ६

अनुप्रयोग

अन्वेषण के उपकरण[1] के रूप में इलेक्ट्रान विवर्तन की उपयोगिता को पूर्णतः समझने के लिए यह समझना आवश्यक है कि किस-किस प्रकार की समस्याएँ इस साधन के द्वारा सबसे सरलता से सुलझायी जा सकती हैं। सम्भवतः इसकी सर्वोत्तम विधि है एक्स-किरण तथा इलेक्ट्रान विवर्तन के बीच के मौलिक भेदों पर दृष्टिपात करना। सबसे महत्त्वपूर्ण भेद यह है कि *विवर्तन कार्य में काम आनेवाले तीव्रतम* इलेक्ट्रानों में भी पदार्थ में वेधन[2] की क्षमता बहुत अल्प होती है, जिसका कारण यह है कि इलेक्ट्रान मणिभ लैटिस के परमाणुओं द्वारा बहुत तत्परता से प्रकीर्णित[3] और अवशोषित (अर्थात् अप्रत्यास्थतः[4] प्रकीर्णित) हो जाते हैं। सामान्यतः काम आनेवाली वोल्टताओं (∽ 40 किलोवोल्ट) के इलेक्ट्रान, x- किरणों की तुलना में, लगभग 10^7 गुने अधिक अप्रत्यास्थतः प्रकीर्णित होते हैं, जबकि अप्रत्यास्थी प्रकीर्णन से पूर्व मणिभ में उनका मध्यमान स्वतन्त्र पथ 500 एं०[5] की कोटि का होता है। अभिलम्ब आपात के लिए द्रुत इलेक्ट्रानों के वेधन की गहराई 200 लैटिस तलों की कोटि की होती है, जबकि तथाकथित परावर्तन प्रयोगों में काम आनेवाले सटते[6] कोणों के लिए दंड का वेधन 10 तलों की कोटि का होता है। इस अल्प वेधन-क्षमता के कारण इलेक्ट्रान पृष्ठगत गुणों और क्रियाओं के अध्ययन के लिए बहुत उपयोगी और सुविधाजनक करण[7] हो जाते हैं। x- किरण मणिभ विश्लेषण और इलेक्ट्रान विवर्तन को परस्पर कोटिपूरक[8] मानना चाहिए; पहला तो पदार्थ के भीतरी के परीक्षण के लिए अतुलनीय है, और दूसरे में पृष्ठीय रचना, पतले पटल, तथा स्वतंत्र अणुओं के गुणों के अनुसंधान के लिए विशेष क्षमताएँ हैं। इलेक्ट्रान विवर्तन का एक और लाभ, जिसका उल्लेख वाष्पों में प्रकीर्णन के सम्बन्ध में किया जा चुका है, यह भी है कि इलेक्ट्रान सरलता से प्रकीर्णित हो जाता है इसलिए विवर्तन प्ररूप की तीव्रता अधिक होती है, और फलतः फोटोग्राफी कार्यों में बहुत अल्प प्रकाशकरण[9] काल पर्याप्त होते हैं। जबकि x- किरणों में प्रकाशकरण काल घंटों का होता है, इलेक्ट्रानों में कुछ सैकंड ही पर्याप्त

1. Instrument 2. Penetration 3. Scatter 4. Inelastically 5. Angstroms, Å 6. Glancing 7. Tool 8. Complementary 9. Exposure

होते है, और इस प्रकार समय की बहुत बचत होती है। (इसकी कुछ कसर इस बात में निकल जाती है कि उपकरण को निर्वातित करना होता है, जैसा पिछले अध्याय में बताया जा चुका है)।

इलेक्ट्रान विवर्तन के सुविशेष अनुप्रयोग—इलेक्ट्रान विवर्तन के अनुप्रयोगों के कुछ उल्लेख पुस्तक के प्रारम्भिक भागों में दिये जा चुके है। अतर्-परमाणवीय[1] दूरियो के निर्धारण में, तथा वाष्प अवस्था में पदार्थों के आणव[2] रूपों के अनुसधान में इसके उपयोग का वर्णन दिया गया है, और यह भी बताया गया है कि कैसे इलेक्ट्रान विवर्तन प्ररूपों से मणिभों के आन्तरिक विभव का निगमन[3] हो सकता है। इस अध्याय में अधिक व्यावहारिक अनुप्रयोगों में से कुछ का विवरण दिया जायगा, क्योंकि सामान्य पाठक के लिए इनमें अधिक आकर्षण होगा, और विषय के सिद्धान्तों का निरूपण करने में भी ये उतने ही उपयोगी होंगे।

लिखिज[4] द्वारा स्नेहन[5]—जेंकिन्स ने इलेक्ट्रान विवर्तन का उपयोग लिखिज स्नेहन की प्रक्रिया का अध्ययन करने में, और लिखिज तथा अमणिभ[6] कार्बन के गुणों की तुलना करने में किया है। प्रारंभिक प्रयोगों में एक बहुमणिभी[7] लिखिज पृष्ठ से तथा एक एकाकी मणिभ के विदलन फलक[8] से परावर्तन द्वारा विवर्तन प्ररूप प्राप्त किये गये। बहुमणिभी पृष्ठ तैयार करने में एलकोहल में छितरा हुआ बारीक लिखिज चूर्ण एक घर्षित[9] कांच के नमूने पर निक्षेपित[10] किया जाता है। ऐसे ही नमूने 'एक्वाडाग'[11] नामक द्रव्य से बनाये गये, जो ई जी एचेसन लिमिटेड द्वारा तैयार किया गया पानी में कलिल[12] लिखिज का छितरन[13] है। इन दोनों नमूनों ने वलय-प्ररूप दिये, जो हल[14] द्वारा x-किरणों से प्राप्त प्ररूपों से मेल खाते थे। एक मात्र अन्तर यह था कि कलिल लिखिज से प्राप्त नमूनों से दूसरे नमूनों की अपेक्षा अधिक विसरित[15] वलय प्राप्त हुए, जिसका अर्थ था कि कलिल लिखिज में मणिभ आकार[16] न्यूनतर होता है। एकाकी मणिभ के विदलन फलकों से एक धब्बोंवाला प्ररूप प्राप्त होता है। प्रयुक्त मणिभ में थोड़ी-सी वक्रता होने के कारण प्ररूप की मध्य रेखा पर विदलन फलक से उत्पन्न धब्बे की अनेक कोटियाँ[17] उत्पन्न हुईं। इसका प्रभाव घूर्णन प्ररूप उत्पन्न करने का है। इन धब्बों में आंतरिक विभव का प्रभाव पाया गया, और इसे प्रचलित तरीके से निर्धारित कर लिया गया।

1. Interatomic 2. Atomic 3. Deduction 4. Graphite 5. Lubrication 6. Amorphous 7. Polycrystalline 8. Cleavage face 9. Ground 10. Deposit 11. Aquadag 12. Colloidal 13. Suspension 14. Hull 15. Diffuse 16. Size 17. Orders

फिर उपर्युक्त बहुमणिभी नमूनों को एक रुई के पैड से हल्के-हल्के रगड़कर पालिश कर लिया गया। इस क्रिया से विवर्तन प्ररूप एकदम बदल गया। वलय लगभग लुप्त हो गये, और मध्य रेखा पर विदलन तल से परावर्तन की विभिन्न कोटियों से गणत विसरित[1] धब्बोंकी, या छोटे वृत्तखंडों[2] की, एक पंक्ति, और बगलमें हल्के धब्बों की दो पंक्तियाँ रह गयीं। धब्बों की मध्यवर्ती पंक्ति तो एकाकी मणिभ प्ररूप की मध्यवाली पंक्ति से संगति रखती है, और बगलवाली धब्बों की पंक्तियाँ वे हैं जो एकाकी मणिभों के कुछ विशेष दिगंशों[3] से प्राप्त हो सकती हैं। यह प्ररूप समस्त छोटे मणिभों के घूमकर इस प्रकार दैशित[4] हो जाने से उत्पन्न होता है कि उनका प्रमुख विदलन तल नमूने के पृष्ठ के समांतर हो जाय। साथ ही धब्बों का विसरित होना यह बताता है कि पालिश की क्रिया में मणिभों के आकार और भी छोटे हो गये हैं। अनेक अन्य प्रकार से प्राप्त नमूनों ने भी पालिश करने पर इसी प्रकार के प्ररूप दिये।

अमणिभी कार्बन का नमूना तैयार करने के लिए घर्षित काँच के एक टुकड़े पर एक अमणिभी आर्क कार्बन को रगड़ा गया। इससे एक चपटा दर्पण जैसा पृष्ठ प्राप्त हुआ, यद्यपि यह लिखिज जितना चमकदार नहीं था। इस नमूने से प्राप्त विवर्तन प्ररूप में तीन तीव्र, किन्तु विसरित वलय प्राप्त हुए, जो लिखिज के प्ररूप के तीन तीव्रतम वलयों से संगति रखते हैं, किन्तु पालिश करने पर लिखिज पृष्ठ में जो दैशितता का प्रभाव आता था, उसके कोई आसार इसमें नहीं दिखाई दिये।

इस नमूने को भी बहुत अधिक पालिश करने से दैशितता के प्रभाव तो प्राप्त हुए, किन्तु मणिभ आकार में कोई कमी आभासित नहीं हुई। इसकी यह व्याख्या सुझायी गयी है कि अमणिभी कार्बन में बहुत छोटे लिखिज मणिभों के दृढ़ता से बद्ध संघ[5] होते हैं। पहली पालिश से पृष्ठ चिकना हो जाता है, किन्तु दैशितता नहीं उत्पन्न होती, जबकि बाद की पालिश में ये संघ खंडित हो जाते हैं, और मणिभ आकार घटे बिना दैशितता उत्पन्न होने लगती है।

यह देखने के लिए एक अंतिम प्रयोग किया गया कि क्या कलिल लिखिज[6] धारी तैल से स्नेहित[7] धातविक बीयरिंग[8] के पृष्ठ पर लिखिज की अधिशोषित तह[9] बन जाती है। स्वीडनी लोहे के एक चपटे पालिशदार नमूने को एक चपटी लोहे की टेबल पर तीन घंटे तक, बीच में "आइलडाग"[10] (एक कलिल लिखिज धारी तैल) से स्नेहन

1. Diffuse 2. Arcs 3. Azimuths 4. Oriented 5. Aggregates 6. Colloidal graphite 7. Lubricated 8. Metallic bearing 9. Absorbed layer 10. Oildag

करके, रगड़ा गया। उसके बाद नमूने के पृष्ठ को अनेक बार बेनजीन में रुई से रगड़ कर धोया गया। विवर्तन प्ररूपों में लोहे और लिपिज दोनों के वलय पाये गये। अधिक धोने से भी लिपिज की तह हट न सकी। जब नमूने को रुई के एक पैड से जोर से रगड़ा गया, तो विवर्तन प्ररूप से पता लगा कि मणिभ दैशितता ग्रहण कर रहे हैं और छोटे होते जा रहे हैं। साथ ही धातु के वलय लगभग दब गये, जिसका संकेत यह हुआ कि लिपिज पटल सारे पृष्ठ पर फैल गया है।

बाद में इसी समस्या का फिंच ने अध्ययन किया है। उन्होंने पाया कि लिपिज की बहुत पतली पटलें, जो एक्वाडाग[1] (कलिल लिखिज-धारी पानी) के वाष्पन से निक्षिप्त की गयी थीं, पालिश करने से पहले भी दैशितता दिखाती हैं। उन्होंने यह भी पाया कि रेगमाल[2] पर पालिश किया गया एक ढलवाँ लोहे का नमूना आंशिक दैशितता वाला लिखिज प्ररूप देता है। नरम इस्पात इसी क्रिया के पश्चात् सामान्य लोहे का प्ररूप देता है। निश्चित ही ढलवाँ लोहे का तथाकथित स्वतः स्नेहन[3] का गुण स्वयं को लिखिज के एक पटल से लेप लेने की इस क्षमता के कारण ही है।

तेल और ग्रीज—स्नेहन के एक अन्य प्रश्न का, जो कुछ भिन्न ढंग का है, मुरिसन[ख] ने अध्ययन किया है। एडम, लैंगम्यूर, राइडील और अन्य कार्यकर्ताओं ने दीर्घ शृंखली यौगिकों[4] की पानी पर बनी एक-आणव[5] पटलों के अध्ययन से बताया है कि यदि अणु लम्बे हों, और उनके एक सिरे पर जल-आकर्षक समूह हों, तो वे घने रूप में अगल-बगल से एकत्र हो जाते हैं, और उनके लम्बे अक्ष पानी के पृष्ठ से काफी ढालू कोण से दैशित हो जाते हैं। इसके विपरीत, यदि अणु छोटे हों, और उनके दोनों सिरों पर जल-आकर्षक समूह हों, तो वे पानी पर सपाट रहते हैं, और स्वतन्त्रता से इधर-उधर घूमते हैं। प्रथम प्रकार के अणुओं के मोटे पटलों के x- किरण अध्ययन से पता लगता है कि अणु इस प्रकार की जमावट में होते हैं कि उनके सिरे पृष्ठ के समांतर तहों में स्थित रहें। ये x-किरण प्ररूप अणु की सारी लम्बाई पर एकसमान घनता का प्रकीर्णक पदार्थ मानने से सरलता से समझ में आ जाते हैं; विवर्तन प्ररूप उत्पन्न करनेवाली आवर्त विरतता[6] अणुओं की तहों के बीच का अंतरण[7] है। यदि इसी प्रकार के पटलों का परीक्षण इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा परावर्तन से किया जाय, तो अणु की लम्बाई से

1. Aquadag 2. Emery paper 3. Self-lubricating 4. Long chain compounds 5. Monomolecular 6. Periodic discontinuity 7. Spacing

संगत अंतरण इतना अधिक होता है कि उसके द्वारा उत्पन्न विवर्तन केन्द्रीय धब्बे के बहुत ही पास होने के कारण दीखेगा नहीं ।

वास्तव में तैलों और ग्रीजों में इलेक्ट्रान विवर्तन के अनेक प्रकार के प्ररूप पाये गये हैं, और इनकी व्याख्या लम्बी शृंखला में कार्बन के क्रमिक परमाणुओं द्वारा प्रकीर्णन के आधार पर की गयी है । प्राप्त प्ररूपों का मुरिसन ने इस प्रकार वर्गीकरण किया है—

(क) प्रतिच्छाया कोर[1] के समान्तर ऋजु रेखाओंवाला प्ररूप ।

(ख) उपर्युक्त प्रकार का ऋजु रेखाओं का प्ररूप, किन्तु रेखाओं पर धब्बों के साथ (आकृति ३९) ।

(ग) तीक्ष्ण वलय[2] ।

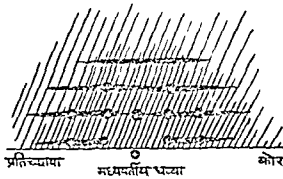
(घ) विसरित[3] वलय, या सिरों पर मुड़ी रेखाएँ ।

(ङ) विसरित वलय ।

(च) विसरित वलय (रिंग), जिनमें दूसरे वलय के भीतर एक धब्बा हो ।

प्रथम दो प्रकार के प्ररूप मुख्यतः ग्रीजों और बहुत भारी तैलों से प्राप्त होते हैं । आंतरिक विभव के प्रभाव के कारण रेखाओं के बीच के अंतरण एकसमान नहीं होते । किन्तु आंतरिक विभव को गणना में लेने पर रेखाओं के बीच की दूरी से निगमित अंतरण x-किरण विधि से निर्धारित कार्बन शृंखला की चपटी टेढ़ी-मेढ़ी रचना में एकांतर कार्बन परमाणुओं के बीच की दूरी से मेल खाता है । इस प्रकार के प्ररूपों को समझने के लिए शृंखलाओं को पृष्ठ के अभिलम्ब मानना होता है । मान लीजिए कि अणु इस प्रकार दैशित हैं, किन्तु अन्यथा यदृच्छा[4] से वितरित हैं । इलेक्ट्रान दंड अणुओं की लम्बाई से लगभग लम्ब दिशा से आपाती होता है, अतः प्रकीर्णन की तीव्रता अणु को अक्ष मानकर खींचे गये शंकुओं की एक श्रेणी पर अधिकतम होगी । ये शंकु प्लेट को अतिपरवलयों[5] में काटेंगे, किन्तु नीची विवर्तन कोटियों[6] से संगत शंकुओं के अर्द्ध-शीर्ष कोण दीर्घ होने के कारण ये अतिपरवलय प्लेट पर ऋजु रेखाओं के रूप में ही आयेंगे । यह (क) वर्ग के प्ररूपों की व्याख्या है । अब यदि अणुओं में से कुछ छोटे समूहों[7] में पास-पास घने रूप में एकत्र रहते हैं, तो पास की दो शृंखलाओं के बीच जो अंतरण होता है उसके कारण होनेवाले धब्बों में से जो तीव्र होंगे वे प्रकट हो जायेंगे । ज्यों-ज्यों सामूहन[8] बढ़ता जाता है, ये धब्बे स्पष्टतर होते जाते हैं, और रेखाएँ लुप्त होने लगती हैं । किन्तु वे पूर्णतः लुप्त

1. Shadow edge 2. Rings 3. Diffuse 4. At random 5. Hyperbolae 6. Orders 7. Groups 8. Grouping

कभी नहीं होती, जिसका अर्थ यह है कि सभी अणु घनी जमावट के समूह कभी नहीं बनाते। यह (ग) वर्ग के प्ररूपों की व्याख्या है। यह पाया गया है कि विशुद्ध पदार्थों की अपेक्षा

आकृति ३९—एक बीज प्ररूप।

हाइड्रोकार्बनों के मिश्रणों में दैशिकता की प्रवृत्ति अधिक होती है, और यह सुझाया गया है कि विशुद्ध पदार्थों में छोटे-छोटे मणिभी गुट्ट बनाने की प्रवृत्ति होती है, जो यदृच्छा से वितरित और दैशित होते हैं। तीक्ष्ण वलयवाले प्ररूप मुख्यतः विशुद्ध पदार्थों से ही प्राप्त होते हैं, जो तत्परता से मणिभित होते पाये गये हैं, और इसमें शंका नहीं है कि ये प्ररूप छोटे मणिभों के यदृच्छ वितरण के कारण होते हैं।

वर्ग (घ) के प्ररूप अधिकांशतः वसीय अम्लों[1] और एलकोहलों से प्राप्त होते हैं, और उनकी व्याख्या के लिए मानना होता है कि अणु नमूने के पृष्ठ से एक निश्चित कोण बनाते हैं, किन्तु अन्यथा यदृच्छया वितरित होते हैं।

अंतिम दो वर्गों के प्ररूप तैलों से प्राप्त होते हैं। ट्रिल्लाट ने एक्स-किरणों से और रुप ने मंद इलेक्ट्रानों से यह दर्शाया है कि एक तैल पटल में अणुओं की चोटीवाली तह में अणु इस प्रकार दैशित होते हैं कि उनका दीर्घ अक्ष पृष्ठ से अभिलम्ब रहे। गुरिमन द्वारा प्राप्त विसरित[2] वलयवाले प्ररूप वैसे ही हैं, जैसे मार्क और वीयर्ल ने वाष्पों से प्राप्त किये हैं, और उनकी व्याख्या भी उसी प्रकार हो सकती है। बाद में अमेरिका में मैक्सवैल ने पतले पटलों के पार संचरण[3] से भी वैसे ही वलय प्राप्त किये हैं। जब पटल बहुत पतले होते थे तो कुछ तैलों से ऐसे प्ररूप प्राप्त हुए जिनमें द्वितीय वलय

1. Fatty acids 2. Diffuse 3. Transmission

के भीतर एक धब्बा प्रकट होता था। यह धब्बा ग्रीज प्ररूप की दूसरी रेखा पर उत्पन्न तीव्र धब्बे के समकक्ष[1] होता है, और संकेत करता है कि तैल दैशितता ग्रहण करने लगा है।

मुरिसन विभिन्न तैलों की स्नेहन[2] क्रियाओं के विषय में बहुत निश्चित तथा उपयोगी निष्कर्षों पर पहुँचने में सफल हुआ है। वह इस निष्कर्ष पर पहुँचा कि विशुद्ध पदार्थ बहुमणिभी[3] तह बनाने की प्रवृत्ति रखते हैं और अशुद्ध पदार्थों में दैशितता आने की संभावना अधिक होती है। ग्रीज में कुछ स्वतंत्र अणु सदा उपस्थित रहते हैं, और इनके कारण ठसे संघों[4] को एक दूसरे के समांतर खिसकने में सुविधा प्राप्त होती है। उधर, अणुओं की दैशितता पृष्ठभूमि[5] तथा ग्रीज के बीच प्रबल आकर्षण बलों की प्रतीक है, जिसके फल स्वरूप सर्वाधिक दैशिततावाले तैलों और ग्रीजों में यह संभावना न्यूनतम रहती है कि दाब के कारण वे बीयरिंग के पृष्ठों से बाहर निचुड़ जायँ। यह देखा गया कि तैल का आणव भार जितना अधिक हो, उतनी ही उसमें दैशितता की प्रवृत्ति अधिक होती है, अतः यह निष्कर्ष निकला कि स्नेहन-क्षमता आणव भार के साथ बढ़ती जायगी। यह फल दीर्घ-शृंखलावाले विशुद्ध द्रव यौगिकों के स्नेहन गुणों पर किये गये सर विलियम हार्डी के प्रयोगों से मेल खाता है।

ग्रीज की आणव तहें—ट्रिल्लाट[41] ने इलेक्ट्रान विवर्तन से, पतले पटलों के रूप में, अनेक कार्बनिक[6] पदार्थों का परीक्षण किया है। अधिक बार तो प्ररूप वे ही आते हैं जो इन पदार्थों की x–किरण अध्ययन से प्राप्त रचना के आधार पर प्रत्याशित किये जाते हैं, किन्तु कुछ नमूनों में प्ररूप x–किरण मापों के अनुरूप नहीं आते, और कुछ में प्रत्याशित प्ररूप के साथ कुछ अतिरिक्त धब्बे और वलय आते हैं। अध्याय ३ में हम अकार्बनिक[7] पटलों से प्राप्त इसी प्रकार के अतिरिक्त वलयों की, तथा उनके सम्बन्ध में फिंच द्वारा दी गयी व्याख्या की चर्चा कर चुके हैं। ट्रिल्लाट ने एक दूसरा ही सिद्धान्त प्रतिपादित किया है, और उसके कार्य से प्रकट होता है कि, कम से कम कुछ केसों में, यह सिद्धान्त सही होगा। उसका सुझाव है कि ये अतिरिक्त वलय और धब्बे नमूने पर बनी बहुत पतली (संभवतः एक-आणव) ग्रीज तह के कारण आते हैं। यदि ग्रीज के अणु पटल से अभिलम्बतः दैशित हों, और घनता से संघित[8] हों तो पटल के अभिलम्बतः देखने से वे क्रास-ग्रेटिंग[9] जैसे दीखेंगे। यदि पटल अणुओं के अनेक ऐसे संघों से ढका हो, जो पृष्ठ पर यदृच्छया[10] वितरित हों, तो पटल के पार इलैक्ट्रान दंड भेजने

1 Analogous 2. Lubricating 3. Polycrystalline 4. Packed groups 5. Substrata 6. Organic 7. Inorganic 8. Grouped 9. Cross-grating 10. Randomly

अन्य अनुप्रयोग—इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा जिन अन्य समस्याओं का अध्ययन किया गया है, उनमें से कुछ का यहाँ संक्षिप्त उल्लेख किया जायगा। इस विधि का उपयोग आक्साइड लेपित तंतुओं[1] की रचना तथा उनका विषाक्तन[2], प्लैटिनम पटलों की उत्प्रेरक[3] क्रिया, और प्लैटिनित[4] एस्बेस्टस पर प्लैटिनम के निक्षेप[5] की प्रकृति के अध्ययन में किया गया है। पालिश किये गये धातुओं के पृष्ठ पर किसी द्रव या अमणिभ[6] तह के बनने के रोचक प्रश्न पर भी बहुत प्रकाश डाला गया है। ऐसी तह की उपस्थिति सर्वप्रथम बीलबी ने अनेक पालिशदार पृष्ठों के सूक्ष्मदर्शीय अध्ययन के आधार पर सुझायी थी, किन्तु इसे सार्व मान्यता नहीं मिली थी। बाद में इलेक्ट्रान विवर्तन विधियों से इस समस्या पर किये गये विस्तृत अन्वेषणों से यह प्रतीत होता है कि ऐसी तह बनती ही है। पालिशदार धातु से प्राप्त प्ररूप में दो विसरित वलय आते हैं जो एक ही प्रमुख अतरण से उत्पन्न विवर्तन की दो कोटियाँ हैं। यह अतरण परमाणुओं के सामीप्य[7] की निकटतम दूरी है, और यह सभी धातुओं के लिए लगभग समान पायी जाती है।

पृष्ठीय रचना—इस अध्याय के उपसंहार के रूप में उन विधियों का संक्षिप्त विवरण देना उचित होगा जिनके आधार पर पृष्ठों की उस बारीक रचना के विषय में सूचना प्राप्त की जा सकती है, जो सूक्ष्मदर्शी के अध्ययन क्षेत्र से लघुतर है, किन्तु आवश्यक रूप से स्वयं मणिभ लैटिस की रचना के बराबर बारीक नहीं।

सबसे पहले विचार कीजिए कि एकाकी मणिभ के विदलन फलकों[8] की प्रकृति के विषय में क्या ज्ञान प्राप्त किया जा सकता है। अध्याय ४ के प्रारंभ में हम विदलन फलक के लिए विवर्तन प्रतिबन्धों पर विचार करने की किचंनर की विधि का, और इन प्रतिबंधों के ढीलन से प्ररूप पर पड़नेवाले प्रभाव का विवेचन कर चुके हैं। हमने दिखाया है कि इलेक्ट्रानों के लिए ब्रैग प्रतिबंध प्रायः अधिक या कम मात्रा में ढीला होता है, जिसका कारण अभी तक पूर्णतः समझ में नहीं आया है, किन्तु जिसका सम्बन्ध अस्थायी रूप से अभी वेधन[9] के अभाव से लगाया जाता है। दूसरा प्रतिबंध भी, जो दंड की दिशा में क्रमिक परमाणुओं से उत्पन्न तरंगिकाओं के व्यतिकरण[10] से संगत है, और जिसे हम "वृत्त प्रतिबंध" कहेंगे, प्राय ढीला पड़ता है, जिसका कारण मणिभ फलक की आदर्श-च्युति है। तीसरा प्रतिबन्ध कभी-कभी ही ढीला होता है, क्योंकि उस पर

1. Coated filaments 2. Poisoning 3. Catalytic 4. Platinised 5. Deposit 6. Amorphous 7. Approach 8. Cleavage planes 9. Penetration 10. Interference

मणिभ की आदर्श-च्युति का प्रभाव कम पडता है। इसलिए, हमारे वर्तमान उद्देश्य के लिए, वृत्त प्रतिबंध का ढीलन ही सबसे अधिक सूचना दे सकेगा। यदि मणिभ फलक २० परमाणु वर्ग की कोटि के छोटे खण्डों में बँटा हो, तो यह विवर्तन प्रतिबन्ध ढीला होगा। इसके फलस्वरूप, और पहले प्रतिबंध को हम अंशतः ढीला मान सकते हैं इसलिए, प्ररूप के धब्बे प्रच्छाया कोर[1] से लम्ब दिशा में छोटी रेखाओं के रूप में फैल जायँगे। इन रेखाओं की लम्बाई मणिभ गुटकों के आकार के विषय में हमें सूचना देगी, किन्तु क्योंकि ब्रैग प्रतिबन्ध से ढीलन कितना होता है इसका ज्ञान नहीं है, इसलिए यह सूचना बहुत स्थूल ही हो सकती है। यदि फैलाव का परिसीमन[2] केवल वृत्त प्रतिबंध के कारण ही हो, अर्थात् यदि ब्रैग प्रतिबंध पूर्णतः ढीला हो जाय, तो मणिभ आकार का एक निकट अनुमान संभव हो सकता है।

एक और ढंग से भी लगभग समरूपी प्ररूप उत्पन्न हो सकता है। मान लीजिए कि एक मणिभ फलक खंडों में बँटा हो, जो यद्यपि छोटे हैं, फिर भी वृत्त प्रतिबंध को कठोर बनाने के लिए पर्याप्त रूप से बड़े हैं। अब मान लीजिए कि ये खंड एक दूसरे से कुछ अंश झुके हुए हैं। इस कारण से भी धब्बे प्रच्छाया-कोर से लम्ब दिशा में रेखाओं में परिणत हो जायँगे। इस दशा में धब्बों का थोड़ा-सा फैलाव छाया-कोर की दिशा में भी होगा; किन्तु इसके अतिरिक्त यह प्ररूप ऊपर वर्णित प्ररूप से बहुत समरूपी होगा। हाँ, किकुची रेखाओं के प्रेक्षण से इन दो दशाओं के बीच भेद करना संभव है। पहली दशा में किकुची रेखाएँ तीक्ष्ण होंगी, दूसरी दशा में वे बहुत धुँधली होंगी, या पूर्णतः लुप्त हो जायँगी। यह याद रखना आवश्यक है कि यद्यपि धब्बों के लिए ब्रैग प्रतिबंध ढीला होता है, किकुची रेखाओं के लिए वह कठोर रहता है। इस प्रकार हम धब्बोंवाले और किकुची रेखाओंवाले प्ररूपों की सहायता से यह मालूम कर सकते हैं कि कोई विदलन फलक लगभग 10^{-5} से. मी. वर्ग से अधिक क्षेत्रफल पर आदर्श है या नहीं, और यदि वह आदर्श नहीं है, तो उसमें आदर्श से किस प्रकार की च्युति है इसका कुछ ज्ञान हो सकता है।

जैसा समझाया जा चुका है, एचित[3] एकाकी मणिभ क्रास-ग्रेटिंग-प्ररूप देते हैं, क्योंकि दण्ड मणिभ पृष्ठ पर की छोटी उठानों[4] के पार वेधन[5] कर सकता है। उस कटिबन्ध[6] की त्रिज्या पर विचार करके, जिसमें क्रास-ग्रेटिंग धब्बे तीव्र होते हैं, यह संभव है कि अध्याय ३ के समीकरण (३) से हम इन उठानों की मोटाई का स्थूल परिमापन[7] कर सकें। उठानों के लिए इस प्रकार प्राप्त परिमाप इस मान्यता पर निर्भर

1. Shadow edge 2. Limitation 3. Etched 4. Projections 5. Penetration 6. Zone 7. Estimate

है कि मणिभ अविकृत है, क्योंकि विकृति से भी कटिबंध की त्रिज्या बढ़ेगी,
प्रभाव उठान की आभासी मोटाई कम होने-जैसा पड़ेगा। यहाँ भी मणिभ
होने, न होने का निर्णय किकुची रेखाओं से होता है। यदि ये रेखाएँ तीक्ष्ण हों
निकटतः आदर्श होना चाहिए। दंड के पथ में इन उठानों से जो क्षेत्रफल आते
आकार का परिमापन स्थूल रूप से प्ररूप के धब्बों की तीक्ष्णता से हो सक
किसी भी धब्बे का कोणीय अर्द्ध-विस्तार[1] सन्निकटता से समीकरण $\phi = \lambda/x$
होता है, जिसमें ϕ अर्द्ध-विस्तार है, और x, जिस दिशा में धब्बे का फैलाव
है उसके समान्तर दिशा में, उठे हुए भागों का आकार है।

इसी प्रकार की विधियों से बहुमणिभी पृष्ठों की रचना का भी अध्ययन
है। विवर्तन वलयों की चौड़ाई से मणिभ आकार के विषय में सूचना मि
यद्यपि इस प्रकार के मापों से निष्कर्ष निकालने में बहुत सावधान रहना आवश्
बहुत छोटे मणिभ, जो लगभग २० परमाणु वर्ग से कम आकार के हों, तीक्ष्
नहीं दे सकते, किन्तु इसका यह अर्थ नहीं कि जहाँ विसरित वलय प्राप्त हों वे
मणिभों के छोटे आकार के कारण हों। जब मणिभ काफी बड़े हों, तो यह संभ
कुछ मणिभों में दंड जिस पृष्ठ से प्रवेश कर रहा है उसी पृष्ठ से कटाक्षी[2] क
निकले। तब एक विवर्तित धब्बा बनेगा, जो वर्तन के कारण कुछ कम-अधिक
धब्बे की ओर खिंचा रहेगा। यदि यह घटना यदृच्छा से वितरित अनेक मणिभों
हो जाय, तो वलय भीतर की ओर विसरित होंगे। वलयों का बाहरी कोर
रहेगा, और यह लघुतर उठानों में इलेक्ट्रानों के वेधन के कारण होगा। बहुत से
जिनमें इस प्रकार का प्रभाव कार्य करता प्रतीत होता है, प्रेक्षित किये गये हैं।

संदर्भ

क—R. O. Jenkins, *Phil. Mag.*, 17, 457, 1934.

ख—C. A. Murison, *Phil. Mag.*, 17, 201, 1934.

ग—Trillat, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.

घ—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc. Roy. Soc.*,
398, 1933; A. G. Quarrel, *Proc. Phys. Soc.*, 46, 148, 1934.

ङ—R. O. Jenkins, *Proc. Phys. Soc.*, 47, 1934.

च—Lark-Horovitz, Yearian and Howe, *Phys. Rev.*, July 1

1. Half-width 2. Glancing

पारिभाषिक शब्दावली

(अंग्रेजी-हिन्दी)

Absorption अवशोषण
Accelerate, to त्वरित करना
Accelerating (*adj*) त्वारक
Acceleration त्वरण
Adjacent संलग्न, निकटवर्ती
Adjust, to समंजन करना
Adsorption अधिशोषण
Aggregate संघ
Alignment एकदैशिकता
Alternating प्रत्यावर्ती
Amorphous अमणिभ
Amplitude आयाम
Anomalous असामान्य
Anode धनाग्र
Aperture द्वारक
Apparent आभासी
Application अनुप्रयोग
Approximate सन्निकट
Approximation सन्निकटन
Arbitrary स्वैच्छिक
Array (of points) व्यूह (बिन्दुओं का)
Atom परमाणु
Atomic परमाणवीय
Azimuth दिगंश

Band पट्टी, पट्ट
Basal plane आधारी तल
Beam, Electron इलेक्ट्रान दंड
Biassing action विभेदपूर्ण क्रिया
Black-body कृष्ण पिंड
Block, Crystal मणिभ गुटका
Block (divided into) खण्ड
Blurred अस्फुट, धुंधला
Body-centred Lattice पिंड केन्द्रीय लैटिस

Capillary केशिका
Cathode ऋणाग्र
Cell, unit एकाक कोषा
Centrifugal अपकेन्द्रीय
Centripetal अभिकेन्द्रीय
Charge चार्ज
Charged चार्जित
Cleavage face विदलन फलक
Coated लेपित
Coincident संपाती
Collector संग्राही
Collar कालर, ग्रैवेय
Collision टक्कर
Colloidal कलिल
Collimating (section) समांतरक

Complementary कोटिपूरक
Common सार्व, सर्वनिष्ठ
„ to Two उभयनिष्ठ
Concentric संकेन्द्र
Condenser संधारित्र
Condition प्रतिबंध
—, Relaxation of प्रतिबंध में ढीलन
Conflict वैपरीत्य
Constant अचर
Contamination अशुद्धि
Continuous अविरत
Coordinate नियामक
Corresponding संगत
Cos θ कोज्या θ
Cross-grating क्रास-ग्रेटिंग
Cross-section, Area of काट-क्षेत्रफल
Crystal मणिभ
Crystal, Single एकाकी मणिभ
Crystalline मणिभी
——, Poly—बहुमणिभी
Crystallography—मणिभ-वीक्षण
Cube घनक
Cubic type (crystal) घनक वर्ग का (मणिभ)
Curved वक्र
Damping अवमंदन
Data न्यास
Defined परिसीमित
Deflection विक्षेप
Degassed विगैसित
Deposit निक्षेप, निक्षिप्त करना
Derivation व्युत्पत्ति
Develop (photo.) परिस्फुटित करना
Deviation विचलन
Device युक्ति
Diagonal विकर्ण
Differential Coefficient अवकल गुणक
Differentiation अवकलन
Diffract विवर्तित करना
Diffraction विवर्तन
Diffuse विसरित
Dimentional, (one, two, three) (एक-, द्वि-, त्रि-) दिश
Diode द्वियोद
Discharge tube विसर्ग नली
Discontinuity विरतता
Discrepency वैषम्य, विषमता
Dispersion विक्षेपण
Displacement विस्थापन
Dissolving विलायन
Distortion विकृति
Divergent अपसृत
Drum ढोल
Dynamics गतिकी
Edge कोर
Effective प्रभावकारी
Elastic प्रत्यास्थी

Elasticity प्रत्यास्थता
Electrometer विद्युन्मापी
Electron, fast द्रुत इलेक्ट्रान
——, Slow मंद इलैक्ट्रान
——Beam इलैक्ट्रान दंड
Electrostatic स्थिरवैद्युत
Element of volume आयतनांश
Elimination निरसन
Elongated दीर्घित
Emergent(ray) निर्गत(किरण)
Energy ऊर्जा
——, Kinetic गतिज ऊर्जा
——, Potential स्थितिज ऊर्जा
Envelope अन्वालोप
Equidistant समदूरस्थ, समांतरीय
Estimate परिमाप
Etched एचित
Evacuated निर्वातित
Explanation व्याख्या
Exposure (time) प्रकाशकरण
(का काल) प्रकाशन-काल
Expression व्यंजक
Extended (pattern) विस्तृत
(प्ररूप)
Extra (rings)अतिरिक्त(वलय)
Face फलक
——, Cleavage विदलन फलक
Face-centred फलक केन्द्रीय
Factor गुणक, गुणांक
——, Structure रचना गुणांक
Falling (of value) अवनमन

Faraday cylinder फैराडे बेलन
Fast द्रुत
Fatty वसीय
Field बलक्षेत्र, क्षेत्र
Filament तंतु
Film पटल, फिल्म (फोटो॰)
Filter छन्ना, छानना
Fine-structure बारीक रचना
Flexible नम्य, लचीला
Fluorescence प्रतिदीप्ति
Focussing संगमन
Fourier Series फूरियर श्रेणी
Frequency आवृत्ति
Function फलन, नियोग
Fundamental मूलात्मक
Galvanometer धारामापी
General सार्व, सार्वत्रिक
Generally सार्वतः
Glancing (angle, incidence)
कटाक्षी (कोण, आपात)
Graphite लिखिज
Grating (line, cross, three
dimensional) ग्रेटिंग (रैखिल,
क्रास, त्रिदिश)
Ground (joint) घर्षित(संयोजन)
Group of waves संघ (तरंगों का)
Group-velocity संघ-वेग
Grove खाँच
Growth, crystal मणिभ गठन
Gun (electron) क्षारक

Optics प्रकाशिकी
Order (of interference)
(व्यतिकरण की) कोटि
Orders, diffraction
विवर्तन कोटियाँ
Ordinate कोट्यक
Organic कार्बनिक
Orientation दैशिकता
Overlap, to प्रारोहित होना
Packed ठसे हुए
Parabolic परवलयीय
Parallelopiped समषड्फलक
Pattern, Diffraction विवर्तन-प्ररूप
——,Extended विस्तृत-प्ररूप
——,L-N- L-,N-प्ररूप
——,Ring वलय प्ररूप
Pencil (of rays) (किरण) शलाका
Periodically आवर्तन:
Phase कला
——, in समान कला में
——difference कलान्तर
Photometry दीप्तिमापन
Physics भौतिकी
Pivoted चूलित
Polarisation ध्रुवण
Polycrystalline बहुक्रिस्टली
Pore [illegible]; [illegible]
Pe [illegible]
[illegible]
[illegible]

——difference विभवान्तर
——, inner आंतरिक विभव
——energy स्थितिज ऊर्जा
Powder method चूर्ण विधि
Predicted उद्घोषित
Probable प्रायिक
Product (Reaction) उत्पादन
Progression, Arithmetic
समांतर श्रेढी
Quantum क्वांटम
Quanta क्वांटा
Rack and Pinion दंडचक्री
Radial त्रिज्यीय
Radiation विकिरण
Random यदृच्छ
Randomly यदृच्छा से, यदृच्छत:
Range परास
Reading पाठ्यांक
Recess खांचा
Reciprocal प्रतिलोम
Record आलेख
Recording (instr.) आलेखी
Rectify, to ऋजु करना
Rectifier ऋजुकारी
Reflection परावर्तन
Refraction वर्तन
Refractive index वर्तनांक
Regular नियमित
Reinforce, to प्रबल करना
Relativity आपेक्षिकतावाद

Half-orders अर्द्ध-कोटियाँ
Half-width अर्द्धविस्तार
Homogeneity समांगता
Homogeneous समांग
Hypothesis परिकल्पना
Imperfect अनादर्श
Incidence आपात
Incident आपाती
Index सूचांक
Induction coil प्रेरण-कुंडल
Inelastic अप्रत्यास्थी
Infinitesimal सूक्ष्मतम
Infinitesimally सूक्ष्मतमत:
Inorganic अकार्बनिक
Insulated पृथक्कृत
Instrument उपकरणिका
Integration अनुकलन
Intensity तीव्रता
Interaction प्रक्रिया
Interatomic अंतर-परमाणवीय
Intercept अंत: खण्ड
Interference व्यतिकरण
Intersect, to प्रतिच्छेद करना
Irregular अनियमित
Jet चञ्चु
Joint जोड़, संयोजक, संयोजन
Kinetic (energy) गतिज (ऊर्जा)
Lattice लैटिस
——,Space आकाश लैटिस
Laue number लावे अंक
Layer स्तर, परत
Leak क्षरण, क्षरित
Limited परिसीमित
Log p लग p
Lubricant स्नेहक
Lubrication स्नेहन
Magnification आवर्द्धन
Mass संहति
——, rest विराम संहति
Mattar द्रव्य
Mean free path मध्यमान स्वतंत्र पथ
Mechanics यांत्रिकी
Mica अभ्रक
Microphotometer सूक्ष्मदीप्तिमापी
Minute (of arc) कला (कोण की)
Mobility चलता
Model मॉडल, स्वरूप
Molecule अणु
Molecular आणव
Momentum संवेग
Monatomic एक-परमाणवीय
Motion संचलन
Multiple एकाधिक, बहुज
Net plane व्यूह तल
Normal अभिलम्ब
Oblique तिरछा
Observable प्रेक्षणीय
Observation प्रेक्षण
One-dimensional एकदिश
Optical प्रकाशीय

Optics प्रकाशिकी
Order (of interference)
(व्यतिकरण की) कोटि
Orders, diffraction
विवर्तन कोटियाँ
Ordinate कोटयक
Organic कार्बनिक
Orientation दैशिकता
Overlap, to प्रारोहित होना
Packed ठने हुए
Parabolic परवलयीय
Parallelopiped समषटफलक
Pattern, Diffraction विवर्तन-प्रस्प
——, Extended विस्तृत-प्रस्प
——, L-N- L-, N-प्रस्प
——, Ring वलय प्रस्प
Pencil (of rays) (किरण) शलाका
Periodically आवर्तत.
Phase कला
——, in समान कला में
——difference कलान्तर
Photometry दीप्तिमापन
Physics भौतिकी
Pivoted चूलित
Polarisation ध्रुवण
Polycrystalline बहुमणिभी
Port आस्य; गद
Postulate मान्यता
Potential विभव
Potential drop विभवपात
——difference विभवान्तर
——, inner आंतरिक विभव
——energy स्थितिज ऊर्जा
Powder method चूर्ण विधि
Predicted उद्घोषित
Probable प्रायिक
Product (Reaction) उत्पादन
Progression, Arithmetic
समांतर श्रे
Quantum क्वांटम
Quanta क्वांटा
Rack and Pinion दंडचक्री
Radial त्रिज्यीय
Radiation विकिरण
Random यदृच्छ
Randomly यदृच्छा से, यदृच्छत
Range परास
Reading पाठ्यांक
Recess खाँचा
Reciprocal प्रतिलोम
Record आलेख
Recording (instr.) आलेखी
Rectify, to ऋजु करना
Rectifier ऋजुकारी
Reflection परावर्तन
Refraction वर्तन
Refractive index वर्तनांक
Regular नियमित
Reinforce, to प्रबल्न करना
Relativity आपेक्षिकतावाद

Relaxation (of condition) ढीलन (शर्तों में)
Relay, Clockwork मोचित्र, घड़ीसार
Repetition दोहरान
Reproducible पुनरुत्पादनीय
Resolving power विभेदता
Resonance अनुनाद
Resultant परिणामित
Retarding (force) अवमंदक (बल)
Ring वलय
Rock Salt रॉक साल्ट
Rotation घूर्णन
——, Axis of घूर्णनाक्ष
Rotation picture घूर्णन चित्र
Saturated संतृप्त
Scatter, to प्रकीर्णित करना
Scattering प्रकीर्णन
——factor प्रकीर्णन गुणांक
——point प्रकीर्णक बिन्दु
Sealed मुद्रित
Secondary द्वैतीयिक
Sec θ व्युज्या θ
Selective सुविशिष्ट
Sensitive सुग्राही
Set (of planes) योजन, संघात
Set, to संस्थित करना
Setting संस्थिति
——, symmetrical समभित संस्थिति

Shutter शटर
Single (crystal) एकाकी (मणिभ)
Sin θ ज्या θ
Slit द्वारिका
Slow मंद
Smooth (curve) चिक्कण (वक्र)
Smoothing (condenser) साम्यकारी, समकारी (संधारित्र)
Smoothened (current) साम्मित (धारा)
Solution (Math.) हल
——, particular ——, विशिष्ट
——, general ——, सार्व
Solvent विलायक
Source, supply स्रोत, प्रदाय
Space आकाश
——Lattice आकाश जालिका
Spacing अंतरण
Spark-gap स्फुलिंग दूरी
Spot धब्बा
Spur उठान
Sputtering स्पटरन
Stage अवस्थान
Standard प्रामाणिक, मानक
Step चरण
Structure रचना
——factor रचना गुणांक
Subsidiary गौण
Substrate पृष्ठभूमि

Superposition अध्यारोप
Supply, H. T उच्चविभव स्रोत (प्रदाय)
Suppression दमन
Surface पृष्ठ, पृष्ठीय, पृष्ठगत
Suspension छितरन, आलम्बन
Symmetrical सममित
Symmetry सममिति
Technical टेकनिकल
Technique टेकनीक
Term पद
Tetrachloride चतुष्क्लोराइड
Tetrahedral चतुःशीर्ष
Theorem प्रमेय
Theory सिद्धान्त
Thermal motion तापीय सचलन
Thermionic उष्मायनी
Tilt नति, झुकाना
Tool करण
Transformation रूपान्तर
Transformer परिवर्तक
Transmission संचरण, पारगमन
Typical प्रतिरूपी
Uniform एकसमान
Vacuum निर्वात
Variation परिगमन
Vector दिष्ट
Vertical ऊर्ध्वाधर
Wavelength तरंग-दैर्घ्य
Wavelet तरंगिका
Wave-front तरंगाग्र
Wave-mechanics तरंग-यांत्रिकी
Wave-packet तरंग-गुच्छ
Work-function कार्यफलन
X-ray एक्स-किरण, X-किरण
Zinc blende यशद ब्लेंड
Zone-axis कटिबंध अक्ष

(हिन्दी-अंग्रेजी)

अंक, लावे Laue numbers
अंतर-परमाणवीय Interatomic
अंतरण Spacing
अंत:खण्ड Intercept
अकार्बनिक Inorganic
अचर Constant
अणु Molecule
अतिरिक्त (वलय) Extra (rings)
अध्यारोप Superposition
अधिशोषण Adsorption
अन्वालोप Envelope
अनादर्श Imperfect
अनियमित Irregular
अनुकलन Integration
अनुनाद Resonance
अनुप्रयोग Application
अपसृत Divergent
अप्रत्यास्थी Inelastic
अभ्रक Mica
अभिलम्ब Perpendicular; narmal
अभिलम्बतः Normally
अमणिभ Amorphous
अर्द्ध कोटियां Half orders
अर्द्ध विस्तार Half width
अवकलगुणक Differential Coefficient
अवकलन Differentiation
अवगमन Falling (of a value)
अवमंदन Damping, Retarding
अवशोषण Absorption, Extinction
अवस्थान Stage
अवस्थित Situated
अशुद्धि Contamination
अस्फुटित Blurred
असामान्य Anomalous
आकाश Space
——लैटिस Space lattice
आणव Molecular
आधारी तल Basal plane
आंतरिक (विभव) (Inner) potential
आपात Incidence
"कटाक्षी (कोण) Grazing, (Incidence angle)
आपेक्षिकतावाद Relativity
आभासी Apparent
आयतन Volume, Bulk
आयतनांश Element of Volume
आयाम Amplitude
आला Port
आलेख Record
आलेखी (यंत्र) Recording
आवर्त Periodic
आवर्द्धन Magnification

आवृत्ति Frequency
इलेक्ट्रान Electron
——दंड " beam,
——द्रुत " fast
इलेक्ट्रान, मंद Electron, slow
उठान Spur, hump
उत्पादन Product (of reaction)
उद्घोषित Predicted
उपकरणिका Instrument
उभयनिष्ठ Common to two
उष्मा Heat
उष्मायनी Thermionic
ऊर्जा Energy
——गतिज ——, Kinetic
——स्थितिज ——, potential
ऊर्ध्वाधर Vertical
ऋजु Straight, direct (current)
ऋजुकरण Rectification
ऋजुकारी Rectifier
ऋणाग्र Cathode
एकदिश One-dimensional
एकदैशिकता Alignment
एक-परमाणवीय Monatomic
एकसमान Uniform
एकाकी (मणिभ) Single (Crystal)
एकाधिक Multiple
एकाक (कोषा) Unit (cell)
एचित Etched
कटिबंध (अक्ष) Zone (axis)
करण Tool

कला Phase, Minute (of arc)
——समान In Phase
कलान्तर Phase difference
कलिल Colloid
कलुषित Blackened
काट-क्षेत्रफल Cross-section, area of
कार्बनिक Organic
कार्यफलन Work function
किरण, x– X-rays
केशिका Capillary
कृष्णपिंड Black body
कोज्या θ Cos θ
कोट्यंक Ordinate
कोटि Order
——व्यतिकरण की Order of interference
कोटिपूरक Complementary
कोर, प्रतिच्छाया Shadow edge
कोषा, cell
क्रमिक Successive
क्वांटम,क्वांटा Quantum,Quanta
क्षरण Leakage
क्षारित्र Leak (n.)
खण्ड Blocks (division into)
खाच Groove
गठन (मणिभ) Growth, Crystal
गतिकी Dynamics
गतिज Kinetic
गुटका Block

गुणक Coefficient
गुणाक, रचना Structure factor
——, प्रकीर्णन Scattering factor
गौण Subsidiary
ग्रेटिंग Grating
——रेखिल Line grating
——त्रिदिश Three dimensional grating
——क्रास Cross-grating
ग्रैवेय Collar
घनक Cube
——फलक केन्द्रीय Cube face centred
——,पिंड-केन्द्रीय——body centred
घनता Closeness (of packing), Density (of distribution)
घर्षित (जोड़, पृष्ठ) Ground (joint surface)
घूर्णन Rotation
घूर्णनाक्ष ——, axis of
चंचु Jet
चतुःशीर्ष Tetrahidral
चतुष्क्लोराइड Tetrachloride
चरयता Mobility
चाप Arc
चार्ज Charge
चार्जित Charged
चूलित Pivoted
चूर्ण-विधि Powder method
छन्ना Filter
छितरन Suspension
ज्या 0 Sin 0
झुकाव (नति) Tilt
टक्कर Collision
टेक्नीक Technique
ठसाव Packing
ढीलन (प्रतिबंध का) Relaxation (of a condition)
ढीलित Relaxed
ढोल Drum
तंतु Filament
तरंग-गुट्ट Wave-packet
तरंग-दैर्घ्य Wavelength
तरंग-संघ Wave-group
तरंग-यांत्रिकी Wave-mechanics
तरंगाग्र Wavefront
तरंगिका Wavelet
तल, व्यूह Net-plane
तह Layer, स्तर
तापीय संचलन Thermal motion
तिरछा Oblique
तीव्रता Intensity
त्रिज्यीय Radial
त्वरण Acceleration
त्वरक Accelerator, (electron) gun
दंड, इलैक्ट्रान Electron beam
दंड-चक्री Rack and pinion
दिगंश Azimuth

दिम, (एक,द्वि,त्रि) Dimensional, (one, two, three)
दिष्ट Vector
दीर्घछिद्र Slit
दीर्घशृंखली यौगिक Long chain compound
दीर्घित Elongated
दीप्तिमापन Photometry
दैशिकता Orientation
दोहरन Repitition
द्रव्य Matter
द्रुत Fast
द्वारक Aperture
द्विपोद Diode
द्वैतीयिक Secondary
धनाग्र Anode
धब्बा Spot
धारामापी Galvanometer
ध्रुवण Polarisation
ध्रुवीय Polar
नति (झुकाव) Tilt
नम्य (लचीला) Flexible
निकटवर्ती Adjacent
नियमित Regular
नियामक Coordinate
नियोग (फलन) Function
निर्गत Emergent
निर्वात Vacuum
निर्वातित Evacuated
निरसन Elimination
निरूपित करना To represent
निक्षिप्त करना To deposit
निक्षेप Deposit
न्यास Data
पटल Film
पट्ट, पट्टी Band
पद Term
पदार्थ Material
पंचभुज Pentagon
परमाणवीय Atomic
परमाणु Atom
परवलयी Parabolic
परास Range
परावर्तन Reflection
परिकल्पना Hypothesis
परिणमित Resultant
परिमाप Estimate
परिरमण Variation
परिस्फुटित करना To develop (photo)
परिसीमित Defined, limited
पाठ्यांक Reading
पिंड-केन्द्रीय Body-centred
पुनरुत्पादनीय Reproducible
पृष्ठ Surface
पृष्ठगत (पृष्ठीय) Of surface
पृष्ठभूमि Substrate, Background
प्रक्रिया Interaction
प्रकाशदान Exposure (photo)

प्रकाशिकी Optics
प्रकीर्णन Scattering
प्रतिच्छाया-कोर Shadow-edge
प्रतिच्छेद Intersection
प्रतिदीप्ति Fluorescence
प्रतिबंध Condition
—में ढीलन ——, relaxation of
प्रतिरूपी typical
प्रतिलोम Reciprocal
प्रत्यास्थी Elastic
प्रत्यावर्ती Alternating
पृथक्कृत Insulated
प्रदाय, उच्चविभव H. T. Source
प्रबलन Reinforcement
प्रभावकारी Effective
प्रमेय Theorem
प्ररूप Pattern
——, L- L- pattern
——, N- N- ——
——, विस्तृत Extended pattern
——, वलय Ring pattern
प्रामाणिक (मानक) Standard
प्रारोहित होना To overlap
प्रायिक Probable
प्रेरण-कुंडल Induction Coil
प्रेक्षण Observation
प्रेक्षित करना To Observe
फलक Face
——, विदलन ——, cleavage
फलक-केन्द्रीय Face-centred

फलन (नियोग) Function
बलक्षेत्र Field (of force)
बहुज (एकाधिक) Multiple
बहुमणिभी Polycrystalline
"बारीक रचना—Fine-structure
बीयरिंग Bearing
बेलन, फैराडे Faraday Cylinder
भौतिकी Physics
मद (इलैक्ट्रान) Slow (electrons)
मणिभ Crystal
——, एकाकी ——, single
——, एचित ——, etched
मणिभ-वीक्षण Crystallography
मणिभी Crystalline
——, बहु Polycrystalline
महत्तम Maximum, maxima
——, विवर्तन Diffraction maxima
माडल Model
मान्यता Postulate, supposition
मुद्रित Sealed
——, वात- Airtight
मूलबिन्दु Origin
मूलात्मक Fundamental
यदृच्छा से (यदृच्छतः) At random, randomly
यशद ब्लैंड Zinc Blende
यांत्रिकी, Mechanics
युक्ति Device
योजना (संघात) तल-Set of planes

योजित Relay
रचना (गुणांक) Structure (factor)
रूप Form
रूपान्तर Transformation
रैडॉन Radon
रॉक साल्ट Rock salt
लग p Log p
लावे अंक Laue numbers
लिखिज Graphite
लेपित Coated
वक्र Curve, Curved
वर्ण Colour
वर्तन Refraction
वर्तनांक Refractive index
वलय Ring
वसीय Fatty
विकृति Distortion
विकर्ण Diagonal
विकल्प Alternative
विकिरण Radiation
विगैसित Degassed
विचलन Deviation
विद्युन्मापी Electrometer
विदलन (फलक) Cleavage (face)
विभव Potential
——, पात ,, drop
——, आन्तरिक ,, inner
विभवान्तर Potential difference
विभेदनता Resolving power
विभेदपूर्ण (क्रिया) Biassing (action)
विरतता Discontinuity
विराम (संहति) Rest (mass)
विलयन Solution
विलायक Solvent
विलायन Dissolving
विवर्तन Diffraction
विवेचन Discussion
विस्थापन Displacement
विषमता (वैषम्य) Discrepancy
विसर्ग (नली) Discharge tube
विसरित Diffuse
विक्षेप Deflection
विक्षेपण Dispersion
वैपरीत्य Conflict
वैषम्य (विषमता) Discrepancy
व्यंजक Expression
व्यतिकरण Interference
व्याख्या Explanation
व्युज्या θ Sec θ
व्युत्पत्ति Derivation
व्यूह (बिन्दुओं का) Array (of points)
व्यूह तल Net plane
शटर Shutter
शमन Suppression
शलाका, किरण Pencil of rays
शोधित Modified
श्रेढ़ी Progression
——, समांतर Arithmetic P
श्रेणी Series

स्थिरवैद्युत Electrostatic
सरता या कटाक्षी (कोण) Glancing
संगमन focussing
सग्राही, फैराडे Faraday collector
संघ Group, aggregate
——,तरंगों का " of waves
——वेग Group velocity
संघात, तल—Set of planes
संचरण Transmission
संचलन Motion
संधारित्र Condenser
सन्निकटन Approximation
संपाती Coincident
संयोजन (जोड़) Joint
संवेग Momentum
संस्थिति Setting
संहति Mass
सम Even
सममित Symmetrical
सममिति Symmetry
समषड्फलक Parallelopiped
समंजन करना To adjust
समांग Homogeneous
समांगिता Homogeneity
समांतर Parallel
—"श्रेढी Arithmetic progression
समांतरकखंड Collimating section
समांतरीय Equidistant
सर्वनिष्ठ Common (to all)
साम्यकारी (समकारी) संधारित्र Smoothing condenser
साम्यित (धारा) Smoothened (current)
सामंजस्य Agreement
सार्व, सार्वत: General (common) *generally*
सुग्राही Sensitive
सुविशिष्ट Selective
सुस्पष्ट Pronounced
सूच्यांक, मिलर Miller index
सूक्ष्मतरत: (अल्प) Infinitesimally, (small)
सूक्ष्मदीप्तिमापी Microphotometer
स्फुलिंग दूरी Spark gap
स्नेहन Lubrication
स्पटरन Sputtering
स्वरूप Form, Model
स्वेच्छित Arbitrary
स्रोत (प्रदाय) Supply, source

नामानुक्रमणिका